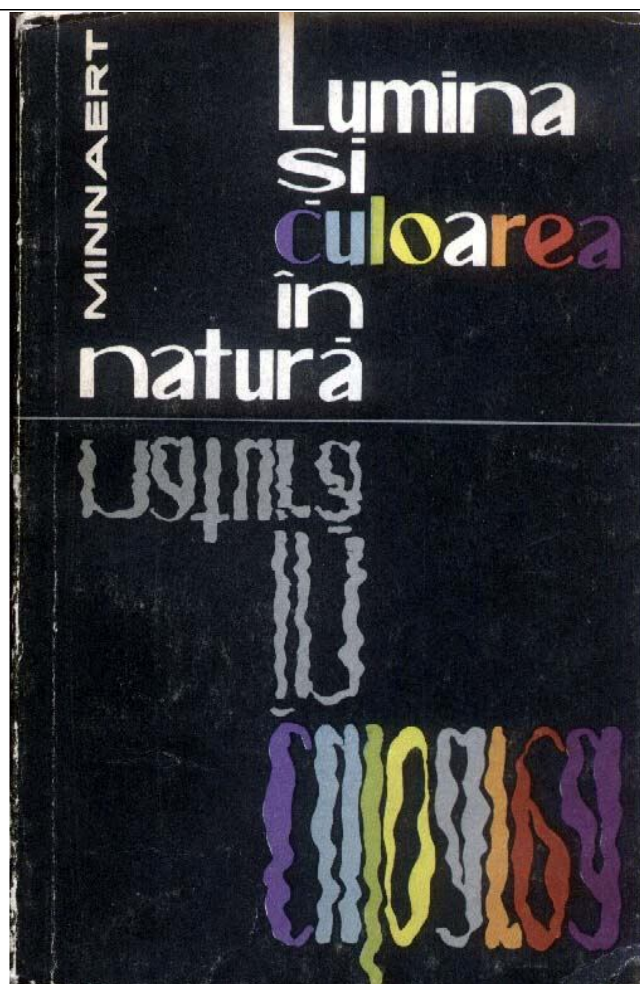


Coperta de: A. Avramescu
LICHT EN KLEUR IN HET LANDSCHAP
Door
Dr. M. MINNAERT Hooglerăr ăn de Rijksuniversiteit te Utrecht
ZUTPHEN —W. J. THIEME & CIE — MCMXLIX

M. MINNAERT * **LUMINA ŞI CULOAREA ÎN NATURĂ**
EDITURA ŞTIINŢIFICĂ
BUCUREŞTI — 1962

„Vom avea de-a face înainte de toate cu experienţe în plină lumină a zilei. Vom duce observatorul în aer liber şi nu, aşa cum se obişnuia, într-o cameră mohorîtă, întunecoasă".

(Goethe, Farbenlehre)[1].

PREFAŢĂ

Un iubitor al naturii nu poate rămîne departe de ea: a se bucura de natură este pentru el tot atît de necesar ca şi a trăi şi a respira. El observă natura într-o zi senină şi pe ploaie, în arşiţă şi pe ger; în păduri şi în aşezări omeneşti, pe uscat şi pe mare, peste tot el găseşte ceva interesant. În orice clipă, în juru-i, se petrec fenomene uimitoare. El hoinăreşte fără încetare, se uită la toate, îşi apleacă urechea la orice foşnet abia perceptibil, aspiră aroma cîmpiilor şi pădurilor, simte orice schimbare de temperatură, atinge uşor, ici şi colo, cîte un tufiş pentru a se simţi mai aproape de tot ce e pămîntesc; el este o fiinţă omenească pătrunsă în cel mai înalt grad de plinătatea vieţii.

Vă înşelaţi dacă consideraţi că pentru cineva care observă natura cu ochii omului de ştiinţă,

[1] Farbenlehre (Teoria culorilor). — N.R

aceasta îşi pierde poezia şi culoarea. Obişnuinţa de a observa ascute sensibilitatea noastră faţă de frumos; lumea bogată în culori devine şi mai strălucitoare şi pe fondul ei diferitele fenomene ale naturii ies şi mai bine în relief. Pentru un astfel de observator, ceea ce se petrece în jur se leagă în mod armonios într-un tot unic, interdependenţa fenomenelor devine mai clară, cauzele şi efectele proceselor din natură devin mai inteligibile; pentru observatorul obişnuit însă, fenomenele naturii apar ca un şir de scene nelegate între ele.

O parte din fenomenele descrise în această carte se întîlnesc în viaţa de zi cu zi şi va fi interesant să aflaţi explicaţia lor ştiinţifică. Sînt prezentate, de asemenea, şi alte fenomene care au loc zilnic, dar pe care încă nu le-aţi observat; rămîne să le descoperiţi de acum înainte; nu aveţi decît sa vă atingeţi ochii cu bagheta magică care se cheamă „să ştii ce sa vezi". În sfîrşit, veţi găsi descrise şi acele fenomene care se întîmplă atît de rar, încît chiar observatorul cel mai experimentat trebuie să aştepte ani de zile pentru a le întîlni; şi atunci cînd reuşeşte, el are marea satisfacţie că asistă la un fenomen atît de neobişnuit.

Oricît de ciudat ar părea, noi vedem numai lucrurile cu care sîntem obişnuiţi şi numai rareori observăm ceva nou, necunoscut pînă atunci, cu toate că acest lucru se află chiar în fata ochilor noştri. În vremurile antice şi în evul mediu, oamenii au observat o mulţime de eclipse de Soare, dar se pare că pînă în anul 1842 coroana solară n-a fost observată. Astăzi însă, tocmai această coroană este considerată fenomenul cel mai interesant din timpul eclipselor de Soare şi ea poate fi lesne observată cu ochiul liber.

În această carte am încercat să adun faptele ce au devenit treptat cunoscute omenirii, datorită activităţii multor oameni de ştiinţă care s-au dedicat cercetării naturii. Fără îndoială că în natură multe fenomene n-au fost încă observate. În fiecare an se tipăresc noi lucrări ştiinţifice care lămuresc o serie de procese; şi ne surprinde gîndul cît de surzi şi orbi putem să fim la atît de multe lucruri din jurul nostru care, cu siguranţă, vor atrage atenţia în viitor.

De obicei cînd se vorbeşte despre „observarea naturii" se are în vedere studiul plantelor şi al animalelor. Dar oare vîntul, vremea şi norii, miile de sunete care umplu spaţiul, undele, razele Soarelui, cutremurele de pămînt nu fac şi ele parte din aceeaşi natură? O carte despre aceste lucruri trebuie să fie foarte interesantă; pentru cel care studiază fizica lucrurilor neînsufleţite ea este tot atît de necesară ca o carte despre faună şi floră pentru biolog. În această carte, noi nu putem lăsa la o parte domeniile în care domneşte meteorologul şi nici domeniile care se învecinează cu ştiinţe ca astronomia, geografia şi biologia; cu toate acestea, sper că am găsit un punct de vedere unitar, astfel ca legătura dintre fenomenele studiate să devină evidentă.

Deoarece ne vom ocupa numai de simpla şi nemijlocita observare a naturii, nu trebuie:

1) să folosim aparate; în schimb trebuie să ne bizuim pe simţurile noastre; acestea sînt ajutoarele noastre principale şi, de aceea, trebuie să cunoaştem bine proprietăţile lor;
2) să tragem concluzii bazate pe analiza statistică;
3) să recurgem la raţionamente teoretice ce nu rezultă direct din ceea ce vedem.

Ne vom convinge că şi în aceste condiţii ne mai rămîn surprinzător de multe posibilităţi de observare; într-adevăr, aproape nu există domeniu al fizicii care să nu-şi fi găsit aplicaţii în aer liber şi, de cele mai multe ori, astfel de experienţe au loc la o scară mult mai mare decît cele din laborator. Cititorul să-şi amintească totdeauna că el poate observa şi înţelege tot ce este descris în această carte. El poate singur să vadă şi să facă totul!

Dacă anumite explicaţii vor părea prea sumare, îl sfătuim pe cititor să-şi împrospăteze cunoştinţele asupra principiilor fundamentale ale fizicii, cu ajutorul unui manual elementar oarecare.

Mulţi oameni încă nu şi-au dat seama de importanţa pentru învăţămînt a observaţiilor în aer liber. Dar tocmai observaţiile efectuate în afara laboratorului ne permit să aplicăm cunoştinţele obţinute în viaţa de zi cu zi. În mod firesc, ele ridică în faţa noastră mii de probleme şi ne confirmă, prin forţa faptelor, justeţea celor învăţate la şcoală. În felul acesta ne convingem de caracterul general al legilor naturii, ce ne apar ca o realitate uimitoare şi măreaţă.

Această carte este scrisă pentru toţi iubitorii naturii: pentru tineretul care cutreieră lumea largă şi care se strînge la popasuri lîngă un foc; pentru artistul pasionat de culorile şi lumina peisajului, dar care nu înţelege cauzele apariţiei lor; pentru cei care trăiesc la ţară; pentru toţi cei cărora le place să călătorească, precum şi pentru cei care trăiesc la oraş şi pentru care fenomenele naturii nu dispar nici măcar în zgomotul şi agitaţia străzilor. Sperăm că pînă şi fizicianul experimentat va putea găsi ceva nou în această carte, dat fiind că anumite fenomene descrise în ea depăşesc limitele unui curs general de fizică. Iată de ce în lucrarea de faţă se găseşte descrierea atît a unor observaţii simple, cît şi a altora mult mai complexe.

Este foarte probabil că această carte să fie prima în genul ei şi, de aceea, ea va fi departe de perfecţiune. Mă simt pur şi simplu copleşit de frumuseţea şi bogăţia materialului şi mă tem că n-am să fiu în stare să-l expun precum merită. Timp de 20 de ani am efectuat, în mod sistematic, experienţe şi

am citit cîteva mii de articole apărute în diferite publicații periodice; în carte însă citez numai lucrările care fie că descriu complet fenomenul respectiv, fie că discută anumite probleme speciale. Îmi dau prea bine seama că această colecție de fapte adunate de mine este departe de a fi completă. Multe lucruri deja descoperite îmi sînt încă necunoscute, iar multe altele nu sînt clarificate încă nici de specialiști. Voi fi foarte recunoscător acelora care, cu ajutorul observațiilor lor sau măcar prin indicarea de date bibliografice, mă vor ajuta să corectez erorile sau scăpările existente.

I. Lumina Soarelui şi umbrele

1. Imaginile Soarelui

„O Soare, !... În umbra frunzişului des şi
aromat al teiului în care arunci aceste pete
Mă doare să calc"
(E. Rostand, Cîntărețul zorilor, Odă Soarelui)

În umbra unui grup de copaci vedem pete de lumină de diferite mărimi, împrăştiate dezordonat pe suprafața pămîntului, care au însă toate o formă regulată eliptică. Aşezați un creion în fața uneia din ele: dreapta care uneşte creionul cu umbra indică direcția razelor de lumină care formează această pată mică pe suprafața pămîntului. Acestea sînt, desigur, razele solare care pătrund prin luminişurile din coroana copacului; într-adevăr, sus, în frunziş, ochiul observă nişte pete de lumină orbitor de strălucitoare.

Ne surprinde faptul că toate aceste pete au aceeaşi formă; este greu de presupus că toate ochiurile frunzişului să fie atît de rotunjite şi asemănătoare! Prindeți una din aceste imagini pe o bucată de hîrtie, astfel ca razele să cadă perpendicular pe ea; veți vedea că pata nu mai este eliptică, ci circulară. Ridicați hîrtia mai sus; pata va deveni din ce în ce mai mică. De aici tragem concluzia că fasciculul de raze care produce o astfel de pată are forma unui con, iar pata apare ca o elipsă, deoarece suprafața pămîntului intersectează acest con sub un anumit unghi.

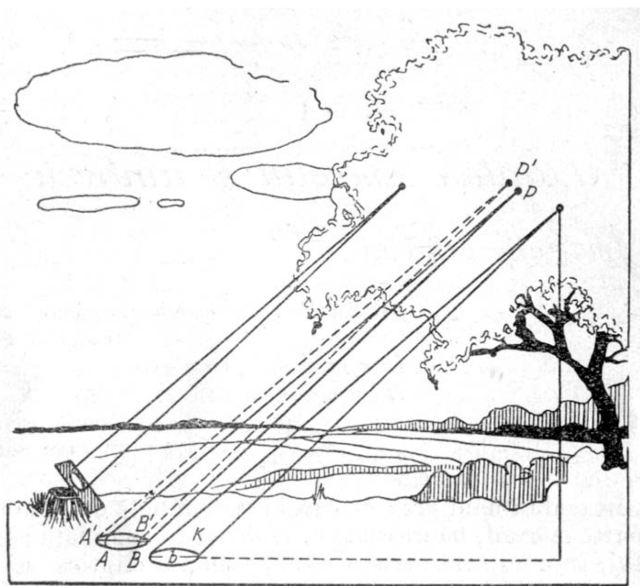


Fig. 1. Razele solare pătrunzînd printr-un frunziş des.

Cauza acestui fenomen trebuie căutată în faptul că Soarele nu este pur şi simplu un punct. Orice orificiu P (fig. 1), oricît de mic, produce o imagine mică, bine conturată a Soarelui AB; un alt orificiu mic, P', formează o imagine puțin deplasată A'B' (liniile punctate). Un orificiu mai mare, care cuprinde atît punctul P, cît şi punctul P', produce o imagine mai puțin netă, dar mai luminoasă, A'B. Într-adevăr, putem observa, în umbră, pete de lumină de intensități diferite, iar dacă există două pete de mărime egală, atunci cea mai intensă dintre ele va fi mai puțin net conturată. Pentru confirmarea celor de mai sus, observați următorul fapt: cînd în fața Soarelui trec nori, ei pot fi observați lunecînd pe fiecare pată de lumină în parte, dar în direcție contrară. În timpul unei eclipse parțiale de Soare, toate imaginile Soarelui au o formă de seceră. Cînd pe Soare există o pată mare, ea poate fi văzută dacă reuşim să obținem o imagine clară a lui. Puteți căpăta o imagine clară a Soarelui, făcînd un mic orificiu circular într-o foaie subțire de carton şi ținînd-o astfel ca imaginea să cadă într-un loc bine umbrit.

Observați imaginea Soarelui produsă de un orificiu pătratic la diferite distanțe de acest orificiu.

108

Fig. 2. Vedem discul Soarelui sub un unghi de 1/108 radiani.

Unghiul sub care vedem discul solar este unghiul APB de la vîrful conului care formează imaginea Soarelui. Astfel de unghiuri mici se măsoară, de obicei, în *radiani.* Cînd spunem că „unghiul este de 1/108 radiani", aceasta înseamnă că Soarele ne apare ca avînd o mărime de l cm la o distanță de 108 cm sau o mărime de 10 cm la o distanță de l 080 cm (fig. 2). De aici rezultă că diametrul imaginii nete a Soarelui trebuie să fie 1/108 din distanța acestei imagini pînă la orificiu, iar în cazul unei imagini difuze trebuie să mai adăugăm secțiunea orificiului din frunziş. Prindeți pe o foaie de hîrtie o imagine nu prea strălucitoare, dar clară, a Soarelui. Ținînd hîrtia perpendicular pe razele solare, măsurați diametrul k al petei luminoase şi determinați cu ajutorul unei bucăți de sfoară distanța L de la hîrtie la orificiul din frunziş. Este oare într-adevăr diametrul k egal aproximativ cu 1/108 (vezi fig. 1)?

Dacă imaginile Soarelui pe o suprafață plană sînt elipse, trebuie măsurate ambele axe, axa mică *k* şi axa mare *b*; raportul dintre ele este egal cu raportul dintre înălțimea H a copacului şi distanța L. Prin urmare,

$$H = k/b * L= 108 k * k/b$$

Într-un caz concret, axele unei imagini deosebit de mari a Soarelui produsă de frunzişul unui fag au fost de 53, respectiv 33 cm; din formula de mai înainte am putut determina înălțimea orificiului din frunziş obținînd 2 200 cm sau 22 m.

Priviți Soarele dimineața şi la amiază; veți observa că dimineața imaginile Soarelui au o formă mai alungită, iar la amiază forma lor se apropie de un cerc.

Imagini fidele ale Soarelui pot fi observate în umbra fagilor, teilor, frasinilor şi mai rar în umbra plopilor, ulmilor, platanilor.

Uitați-vă la imaginile Soarelui formate de copacii care cresc la malul iazurilor de mică adîncime; pe fundul apei, aceste imagini au o formă foarte bizară.

2. Umbrele

Priviți-vă umbra pe suprafața pămîntului. Umbra picioarelor este conturată net, umbra capului este mai difuză. Umbra părții inferioare a trunchiului unui copac sau a unei coloane este clară în timp ce umbra părții superioare este din ce în ce mai ştearsă.

Țineți mîna în fața unei foi de hîrtie; veți observa o umbră netă. Îndepărtați mîna de hîrtie. Umbra plină a fiecărui deget devine din ce în ce mai îngustă în timp ce semi-umbrele se măresc treptat pînă ce se contopesc[1].

Acest fenomen, ca şi imaginile Soarelui, confirmă faptul că Soarele nu este punctiform. Priviți cu atenție umbra unui fluture sau a unei păsări (cît de rar le observăm!); o să vedeți că umbra este circulară; aceasta este „imaginea de umbră a Soarelui".

O dată m-a uimit umbra ciudată a unui gard de sîrmă împletită sub formă de celule dreptunghiulare. Se vedeau numai umbrele firelor verticale; cele orizontale nu aveau umbră! Dacă ținem o foaie de hîrtie găurită în mai multe locuri astfel ca să cadă asupra ei razele Soarelui, fiecare gaură va forma pe suprafața pămîntului o pată luminoasă eliptică. Închipuiți-vă că umbra unei sîrme se formează în urma suprapunerii unor astfel de elipse mici, dar întunecoase, situate foarte aproape una de alta; umbra este destul de clară atunci cînd firul de sîrmă este aşezat în direcția axei mari a elipselor şi difuză cînd firul este orientat în direcția axei mici (fig. 3).

[1] Goethe, Farbenlehre, I, 1, 394—395.

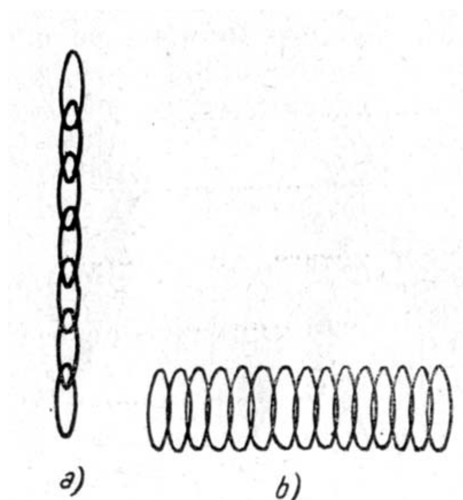


Fig. 3. Umbrele unei sîrme de fier, formate de raze solare în cădere oblică.

a) umbra netă; *b)* umbra difuză

Țineți o foaie de hîrtie foarte aproape de o plasă de sîrmă, în spatele ei, şi îndepărtați-o apoi din ce în ce mai mult astfel ca să puteți urmări apariția treptată a acestor umbre interesante. Repetați experiența cînd razele Soarelui cad pe suprafața pămîntului sub unghiuri diferite; observați, de asemenea, umbrele unei plase cu ochiuri oblice etc.

Umbrelor li s-a acordat o mare atenție în folclor. De obicei se zicea că pierderea umbrei proprii prevesteşte o nenorocire. Oamenii credeau că omul a cărui umbră nu avea cap este sortit morții într-un an. Astfel de prejudecăți existau la toate popoarele şi în toate timpurile.

3. Imaginile Soarelui şi umbrele din timpul eclipselor şi al apusului de Soare

În timpul unei eclipse de Soare observăm cum Luna lunecă în fața discului solar, acoperindu-1 treptat şi cum, după un anumit timp, rămîne vizibilă numai o seceră îngustă. În acest moment, micile imagini ale Soarelui sub frunziş arată ca nişte seceri în miniatură, orientate toate în aceeaşi direcție şi care diferă prin mărime şi luminozitate.

Formele umbrelor în timpul eclipselor solare sînt supuse unor modificări analoge. Umbrele degetelor, de exemplu, încep sa amintească de forma unor gheare. Orice obiect întunecos mic aruncă în acest moment o umbră sub formă de seceră; umbra unei vergele mici constă dintr-un număr mare de astfel de seceri, încît la capăt umbra este curbată.

Un exemplu bun de obiect întunecat izolat este un balon, într-adevăr s-a observat că, în timpul eclipsei de Soare, atît umbra balonului, cît şi cea a nacelei aveau forma de seceră. Dacă un avion zboară suficient de sus, umbra sa este şi ea curbată.

Eclipsele de Soare, chiar şi cele parțiale, au loc foarte rar; totuşi astfel de umbre se pot vedea atunci cînd Soarele apune în largul mării şi se observă umbrele unor monede sau discuri de diferite dimensiuni lipite de un geam sau atîrnate de un fir. Forma umbrei şi distribuția de lumină în ea variază în funcție de mărimea monedelor şi de adîncimea la care a coborît discul solar sub orizont.

4. Umbrele duble

Toamna, cînd copacii şi-au pierdut frunzele, vedem adeseori umbrele a două ramuri paralele suprapunîndu-se. Ramura mai apropiată aruncă o umbră întunecoasă netă, în timp ce umbra ramurii îndepărtate este mai lată şi mai cenuşie. Surprinzător este aici faptul că atunci cînd cele două umbre se suprapun întîmplător, observăm o fîşie luminoasă clară în mijlocul umbrei mai întunecate, ca şi cum aceasta ar fi dublă (fig. 4). Cum se explică acest lucru? Să presupunem că ramura mai îndepărtată este mai groasă decît cea apropiată. Pentru a determina iluminarea pe suprafața pămîntului în diferite puncte ale umbrei şi în puncte apropiate de ea, să ne închipuim că privim Soarele succesiv din toate aceste

puncte. Pentru început, să presupunem că ochiul nostru se află într-un punct la 10—20 cm depărtare de umbră; vom vedea că sîntem iluminați de întregul disc solar. Apoi să ne închipuim că ochiul nostru se deplasează puțin în poziția A (fig. 4), intrînd astfel în penumbra ramurii mai îndepărtate. Acum această ramură apare în fața discului solar. Deoarece ea acoperă parțial discul solar, iluminarea punctului respectiv este micşorată. Să deplasăm ochiul în poziția B. Acum şi ramura a doua va fi în fața Soarelui; ambele ramuri obturează o bună parte din lumină. Să deplasăm mai departe ochiul, pînă ce ajunge în poziția C unde cele două ramuri par să se suprapună. În această poziție, partea discului solar, ale cărei raze sînt interceptate de ramuri, a devenit din nou mai mică, iar iluminarea pămîntului, care joacă rolul de ecran, se măreşte în consecință. Cînd vedem o astfel de umbră pe suprafața pămîntului, trebuie să avem în vedere toate cazurile considerate mai sus; atunci va deveni clar de ce fîşia centrală a întregii umbre este mai luminoasă decît părțile imediat adiacente din dreapta şi stînga.

În fig. 4 este reprezentat schematic discul solar văzut succesiv din punctele A, B, C, D, E; s-a presupus că ramura îndepărtată este mai groasă decît cea apropiată.

Desigur, fenomenul poate fi observat numai în cazul cînd distanța unghiulară între ramuri este mai mică decît diametrul aparent al discului solar.

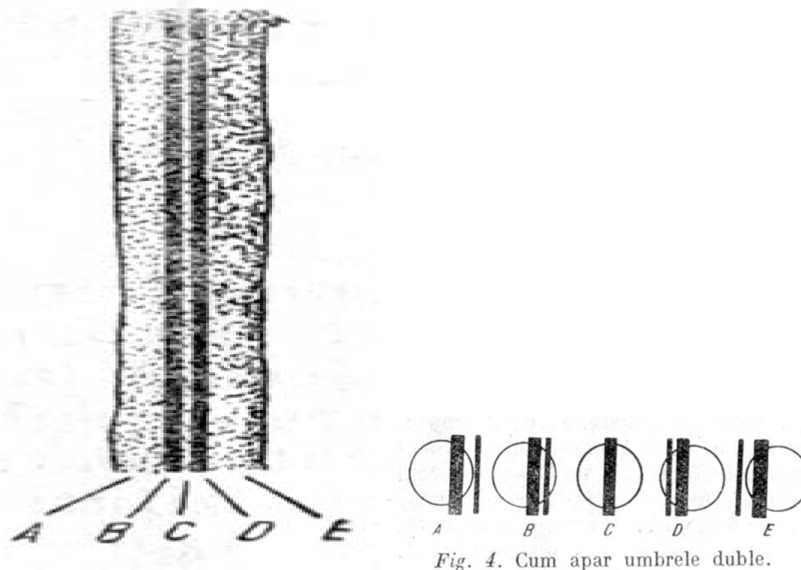


Fig. 4. Cum apar umbrele duble.

Acelaşi fenomen poate fi observat şi în umbrele stîlpilor de telegraf, atunci cînd ele se suprapun.

Luați în mînă o carte şi țineți-o astfel încît umbra ei să apară în lumina slabă a unei imagini foarte mari a discului solar. Veți vedea că umbra cărții va fi mult mai netă decît în mod obişnuit. Căutați un loc unde nişte puieți subțiri şi înalți aruncă o umbră ştearsă şi țineți în umbra aceasta un creion. Veți obține de îndată o umbră dublă sau multiplă, în care o componentă va fi mai pronunțată sau mai slabă decît celelalte. Țineți în acelaşi loc o carte şi veți observa că umbra ei va avea margini de penumbră deosebit de nete.

„Am hoinărit o dată pe țărmul mării... Era o seară pe la sfîrşitul lui martie. La apus, dincolo de orizont, apunea Soarele; Luna strălucea în partea de răsărit a bolții cereşti. Mult timp asfințitul îmi proiecta umbra în răsărit; la un moment dat însă, umbra dispăru complet şi apăru din nou la apus, cînd Luna începuse să strălucească mai puternic decît amurgul serii".

(S. Nordal, Hel.)

Au fost oare aceste observații reale?

II. Reflexia luminii[1]

5. Legea reflexiei

Găsiţi un loc în care Luna se reflectă pe o suprafaţă de apă foarte liniştită. Comparaţi înălţimea unghiulară a Lunii deasupra orizontului cu distanţa unghiulară a imaginii reflectate a Lunii sub orizont; veţi constata că aceste două mărimi sînt egale în limita erorilor de observaţie.

Dacă Luna nu este prea sus pe cer, întindeţi mîna, ţinînd în ea un băţ vertical, astfel încît vîrful lui să fie în faţa discului lunar, iar degetul mare al mîinii să marcheze pe băţ linia orizontului. Rotiţi apoi băţul în jos, mîna fiind axa de rotaţie şi vedeţi dacă vîrful lui atinge imaginea Lunii. Măsurători analoge făcute cu telescopul asupra stelelor constituie verificarea cea mai riguroasă a legii reflexiei.



Fig. 5. Lumina solară reflectată de o fereastră aşezată adînc în perete.

Razele Soarelui, situat nu prea sus deasupra orizontului, cad asupra unei ferestre aşezate adînc în perete (fig. 5). Umbra AB indică direcţia razei incidente; lumina reflectată cade sub forma unei pete mai luminoase în direcţia BC. Se vede clar că ambele direcţii sînt simetrice faţă de perpendiculara BN şi, de aceea, <ABN = <CBN. Aceasta nu este chiar legea reflexiei, ci o consecinţă a ei. Demonstraţi acest lucru.

De ce geamurile caselor îndepărtate reflectă numai Soarele care răsare sau apune?

6. Reflexia pe fire de sîrmă

Firele de telegraf strălucesc în Soare; dacă mergem de-a lungul firelor, petele de lumină de pe ele se deplasează cu aceeeşi viteză ca şi noi. Tot astfel, seara, felinarul de pe stradă aruncă o pată strălucitoare de lumină asupra firelor d e tramvai. Ce determină poziţia acestei pete luminoase?

---

[1] M. Pollock, Light and Water, London, 1903

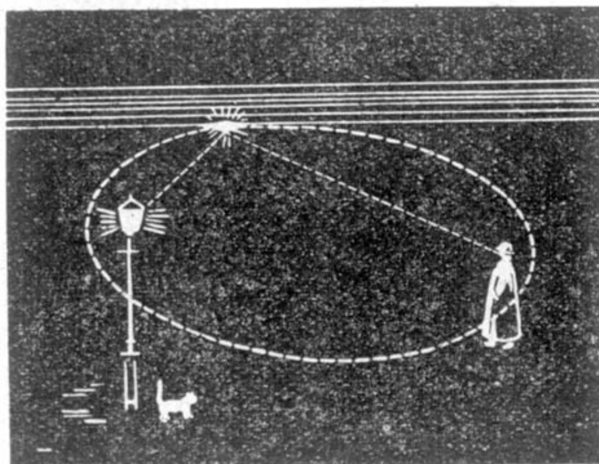


Fig. 6. Reflexia luminii unui felinar pe firele de telegraf.

Încercați să construiți în imaginație un elipsoid tangent la sîrmă, astfel ca ochiul şi sursa de lumină să se afle în focarele sale (fig. 6). Pata luminoase de pe sîrmă este punctul de tangență; conform unei proprietăți binecunoscute a elipsoidului, rezultă că dreptele care unesc orice punct de pe elipsoid cu focarele formează unghiuri egale cu planul tangent.

7. Deosebirea dintre obiect şi imaginea sa reflectată

Mulți cred că peisajul reflectat într-o apă liniştită nu se deosebeşte prin nimic de peisajul real şi este numai răsturnat. Aceasta este foarte departe de adevăr! Observați cum se reflectă noaptea în apă un şir de felinare (fig. 7). Imaginea unui dig în apă pare micşorată şi dispare chiar complet dacă ne aflăm la o înălțime destul de mare deasupra apei (fig. 8).

Cu cît obiectele sînt mai aproape de noi, cu atît mai jos vor apărea reflexiile lor față de fond. Nu veți reuşi niciodată să observați reflexia vîrfului unei pietre care se află pe jumătate în apă.

În fig. 9 sînt date cîteva exemple care ilustrează acest lucru. Fig. 9a arată că un observator vede Luna deasupra turnului, în timp ce în reflexie Luna este ecranată de clopotniță. Un exemplu asemănător este dat în fig. 9b. În imaginea reflectată, clopotnița apare sub Lună, iar vîrful copacului din apropiere apare sub clopotniță.

Comparați, de asemenea (fig. 9, c), aşezarea copacului şi a lanțului de munți care se văd în depărtare; efectul este deosebit de convingător şi ne aminteşte de o serie de imagini care ni s-au întipărit cîndva inconştient în memorie.

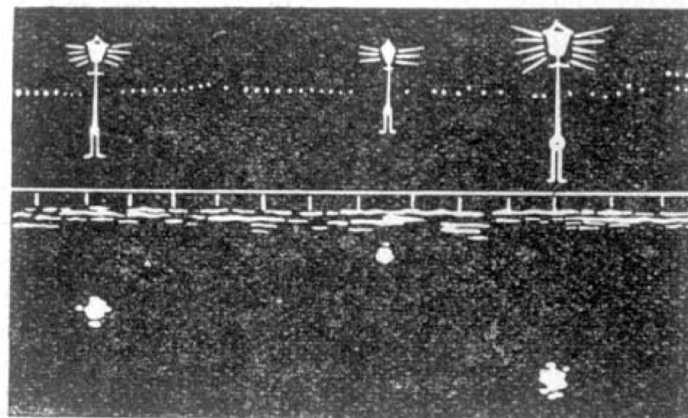


Fig. 7. Imaginea poate să difere de obiectul însuși!

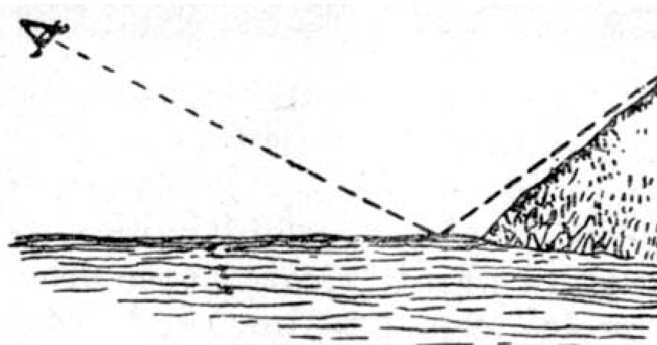


Fig. 8. Contracția imaginii unei pante abrupte.

Aceste lucruri nu sînt surprinzătoare dacă ținem seama că imaginea reflectată corespunde într-adevăr riguros însuși peisajului şi diferă de acesta numai prin perspectivă, care se dovedeşte a fi deplasată. Noi vedem peisajul ca şi cum am privi obiectul dintr-un punct situat sub nivelul apei, la aceeaşi distanță la care ochiul nostru se află deasupra nivelului apei. Această deosebire se micşorează o dată cu apropierea ochiului nostru de nivelul apei şi cu îndepărtarea obiectului (cf. §§ 5, 146).

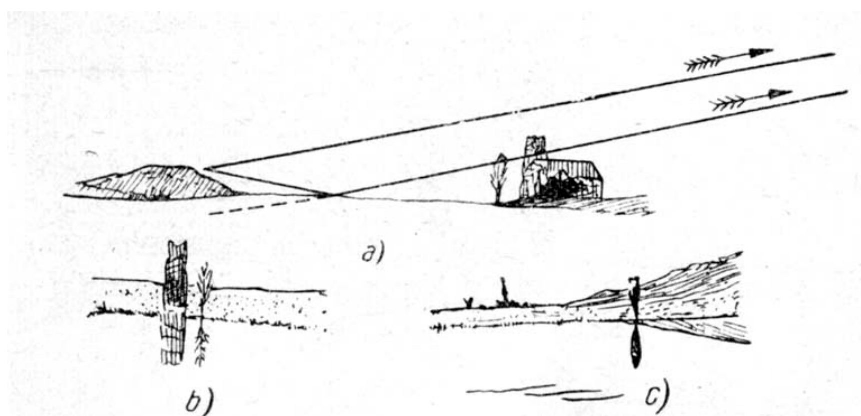


Fig. 9. Deosebirea dintre peisaj și imaginea sa. Săgețile pe desenul de sus indică direcția Lunii.

Trebuie însă considerată şi o alta latură a fenomenului. Deseori se poate observa că reflexiile

copacilor şi tufişurilor în iazuri şi lacuri mici, situate aproape de drum, sînt mai clare şi au culori mai pure şi tonuri mai calde decît înseşi obiectele. Norii reflectaţi de o oglindă apar totdeauna mai frumoşi. Foarte clară este imaginea străzii într-o vitrină care are un fundal întunecat. Cauza acestui fenomen este mai curînd de natură psihologică decît fiziologică. Unii consideră că un peisaj reflectat exercită asupra noastră aceeaşi impresie ca şi un tablou, în care totul este reprezentat într-un plan (din punct de vedere fizic, reflexiile sînt situate în planuri diferite ca şi înseşi obiectele). Este posibil ca, din cauza ramei, să nu ne dăm seama de poziţia reală în spaţiu a obiectelor reprezentate în tablou şi această senzaţie de nesiguranţă accentuează parcă caracterul în relief al imaginii. După părerea mea, cauza cea mai importantă pare să fie aceea că ochiul nu este orbit de strălucirea cerului din jurul obiectului observat, asemănător cu cazul cînd efectuăm observaţiile cu ajutorul unui tub (§ 192). Mai mult chiar, luminozitatea redusă a imaginii uşurează observarea cerului şi a norilor, care la observarea directă sînt prea strălucitoare pentru ochi.

8. Razele de lumină reflectate în canale şi rîuri

Pe vreme însorită, orice suprafaţă de apă liniştită reflectă razele luminii solare, care se ridică deasupra peisajului ca fasciculul de lumină al unui reflector uriaş (fig. 10). Aceste raze nu pot fi însă observate decît rareori: e nevoie pentru aceasta de un concurs de împrejurări rar favorabile. De cele mai multe ori, ele pot fi văzute dimineaţa sau seara cînd Soarele se află aproape de orizont şi reflexia este mai puternică (§ 60). Razele de lumină trebuie să fie vizibile în aer pe timp de ceaţă slabă; însă observaţiile nu pot fi efectuate pe timp de ceaţă densă cînd luminozitatea razelor scade rapid şi valul de lumină care se abate asupra tuturor lucrurilor şterge deosebirile fine de luminozitate. Pîrîul sau canalul trebuie să aibă o astfel de poziţie, încît razele solare să cadă liber pe suprafaţa apei.

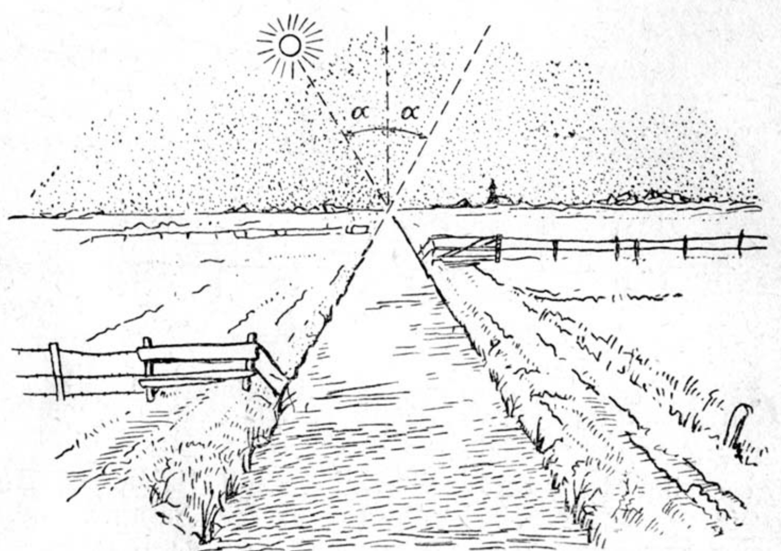


Fig. 10. Fasciculul de raze solare reflectate de canal se conturează clar în aer.

Am ajuns la concluzia că la astfel de observaţii este mai bine să priveşti în direcţia Soarelui şi nu în direcţia opusă; în acest caz, difuzia este mai intensă şi razele sînt mai nete (§ 206). Suprafaţa apei nu trebuie să fie încreţită şi e bine ca vîntul să bată slab şi în direcţia perpendiculară la canal. În privinţa aceasta sînt favorabile malurile înalte, dar totuşi nu prea înalte pentru a nu opri razele incidente şi reflectate. Raza de lumină reflectată va fi cu atît mai vizibilă, cu cît canalul este mai lung şi mai drept.

Din experienţă, mai putem adăuga că partea stîngă a „razei de lumină" care se ridică se va contura mai net dacă observatorul se află pe partea stîngă a canalului.

În condiţii favorabile, acest fenomen interesant poate fi observat lîngă canalele obişnuite care sînt atît de numeroase în Olanda. Pentru a vedea fenomenul, observatorul trebuie să se afle aproape de canal sau de rîu.

9. Reflexii neobişnuite (fotografia I[1])

[1] Fotografiile numerotate cu cifre romane se află la sfîrşitul cărţii.

Pe stradă, în umbra aruncată de clădiri, se pot vedea pe neaşteptate, ici-colo, pete de lumină (fig. 11). Cum ajunge lumina acolo? Ţineţi mîna în faţa unei astfel de pete de lumină şi din poziţia umbrei veţi putea determina de unde cad razele. Se constată că ele sînt reflectate de geamurile caselor situate pe partea opusă a străzii.



Fig. 11. Pete de lumină solară pe o stradă îngustă şi întunecoasă.

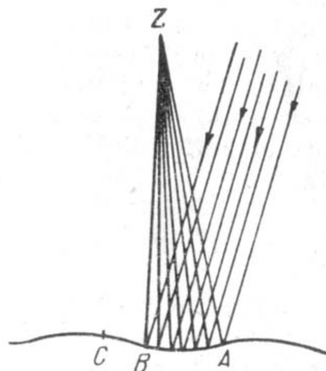


Fig. 12. Formarea petelor mobile de lumină la reflexia pe o suprafaţă de apă uşor agitată.

Tot astfel se pot vedea pete de lumină care strălucesc pe suprafaţa unui canal, atunci cînd însuşi canalul se află în umbră. Aceste pete sînt reflectate de casele de pe celălalt mal al canalului.

Casele de-a lungul malului sînt în întuneric şi totuşi pe ele apar tot timpul pete de lumină mobile. Acestea sînt reflexiile valurilor apei (fig. 12). O parte AB a undei reflectă lumina ca o oglindă concavă şi concentrează razele în L; o altă parte a undei, BC, care este mai puţin curbată, concentrează razele într-un punct mai îndepărtat. Astfel, la orice distanţă de zid există o porţiune a suprafeţei de apă care aruncă o pată de lumină netă asupra zidului, în timp ce celelalte părţi ale suprafeţei contribuie la iluminarea de ansamblu. Fenomene asemănătoare pot fi observate de-a lungul cheiurilor şi sub arcurile podurilor. Avem aici de fapt un model pentru licărirea stelelor (vezi § 48).

O privelişte măreaţă ne oferă strălucirea luminii Soarelui pe suprafaţa apei unui canal, încreţită de o briză proaspătă care ridică, pe alocuri, mici valuri. Mii de scîntei strălucitoare apar şi dispar ritmic, cam de cinci ori într-o secundă şi aceasta se întîmplă aproape simultan pe toată suprafaţa canalului.

Perioada de repetiţie a licăririlor coincide cu timpul de deplasare a unei unde (urmăriţi, într-adevăr e aşa?). De fiecare dată după acest interval situaţia se repetă, însă din cauza neuniformităţii vîntului, scînteierile nu sînt peste tot ritmice.

10. Tirul în imaginile reflectate

Lîngă Salzburg se află lacul Konigsee; el este înconjurat de munţi înalţi şi, de aceea, suprafaţa sa este totdeauna foarte liniştită. Aici se practică concursuri de tir. Trăgătorii nu ochesc în ţintă, ci în imaginea ei în apele lacului, iar gloanţele nimeresc în ţintă ricoşînd în apă. Probabilitatea de a nimeri astfel ţinta este, după cît se pare, tot atît de mare ca la tragerea directă.

Este remarcabil că gloanţele nu sînt ricoşate de suprafaţa apei, ci pătrund (deşi nu prea adînc) în apă. Hidrodinamica arată că glonţul este împins de straturile de apă spre suprafaţă şi, ca rezultat, el iese din apă. Unghiul făcut de direcţia de ieşire a glonţului cu suprafaţa apei este egal cu unghiul dintre direcţia de intrare a acestuia şi suprafaţa apei. Mişcarea gloanţelor a fost urmărită cu ajutorul unui ecran scufundat în apă.

11. Heliotropul lui Gauss

Ţineţi o oglindă mică astfel ca să reflecte lumina solară. Imaginea obţinută în apropierea oglinzii are aceleaşi trăsături ca şi oglindă; la o distanţă mai mare, ea devine mai puţin netă, iar şi mai departe, ea este circulară; la distanţe mari, ea este imaginea reală a Soarelui. Obturaţi acum o parte a

oglinzii. Pata de lumină rămîne circulară, dar devine mai palidă. Ea nu poate fi urmărită la o distanță mai mare de 50 m, în schimb, se poate vedea oglinda care încă mai strălucește puternic în Soare, chiar și la o depărtare așa de mare.

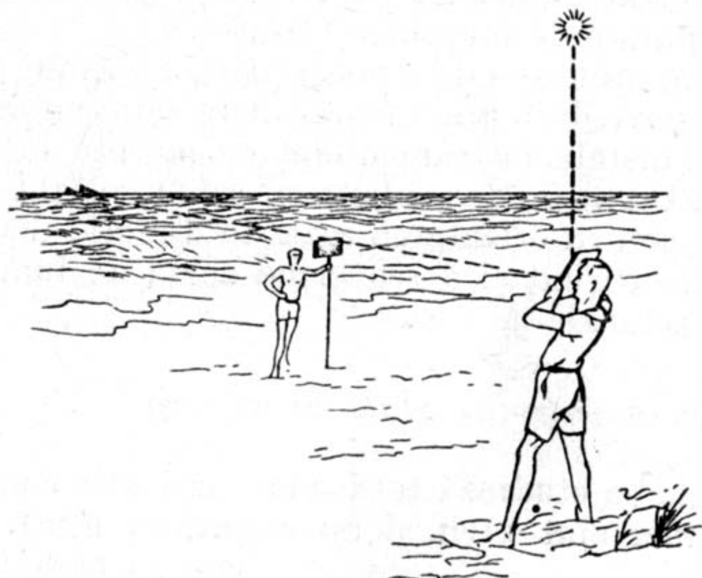


Fig. 13. Cum se semnalizează cu ajutorul unei oglinzi.

Fixați oglinda cu o clemă sau între două pietre într-un loc deschis, astfel ca raza reflectată să fie perfect orizontală, îndepărtați-vă din ce în ce mai mult de acest loc fără a pierde din vedere lumina. Veți observa că acest lucru este destul de greu, însă, din fericire, diametrul razei se mărește pe măsură ce vă îndepărtați; apreciați lărgimea razei, deplasîndu-vă lateral. Veți constata că la o distanță de 100 m ea este de 1 m. Trebuie ținut seama că Soarele se mișcă pe bolta cerească; de aceea e mai bine să efectuați această experiență la amiază, deoarece atunci raza va rămîne în planul orizontal și nu va trebui să schimbați poziția oglinzii.

Distanța de la care se mai poate vedea o astfel de oglindă mică este surprinzător de mare.

O oglindă cu dimensiunile de 5x5 cm poate fi văzută de la distanță de 13 km, iar o oglindă de buzunar obișnuită poate fi văzută uneori și de la 30 km. Printre ustensilele de salvare ale vaselor se află totdeauna și oglinzi.

Fig. 13 ilustrează un mod foarte simplu de orientare a fasciculului luminos. Pentru aceasta răzuiți o porțiune a stratului de pe spatele oglinzii și, prin orificiul astfel format, vizați ținta peste marginea de sus a unei tăblițe așezate la o anumită distanță, înclinați oglinda pînă când fasciculul reflectat va arunca pe tăbliță o pată de lumină tăiată pe jumătate de marginea tăbliței.

Gauss, ocupîndu-se de triangulații[1], a obținut prin această metodă surse de lumină foarte clare care puteau fi observate prin lunetele instrumentelor de măsură la o distantă de 100 km. Un astfel de „heliotrop" este prevăzut cu un aparat special pentru orientarea razei în direcția dorită de observator. Acoperind și descoperind sursa de lumină se pot transmite semnale Morse.

12. Reflexia într-un glob de grădină

În școală se studiază totdeauna oglinzile convexe, însă aceste oglinzi sînt mici și au o curbură mică. Pe globurile pe care le întîlnim uneori în grădini, ele corespund la o porțiune mică (însemnată cu linia groasă) care este îndreptată spre noi și în care putem vedea propria noastră imagine (fig. 14).

[1] Operație de stabilire, pe o porțiune a suprafeței Pămîntului, a unei rețele de triunghiuri, formală din puncte materializate pe teren pornind de la o bază de lungime relativ mică, însă măsurată cu precizie; servește la ridicări geodezice pe suprafețe întinse prin raportarea punctelor terenului la vîrfurile triunghiurilor. — N.R.

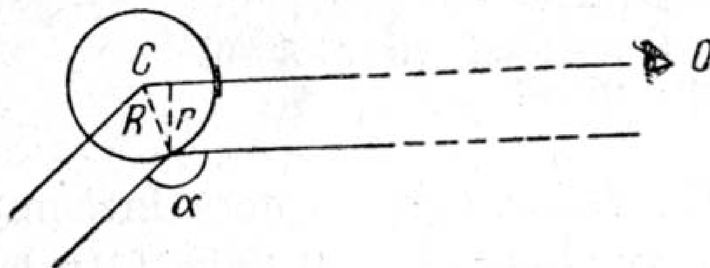


Fig. 14. Întreaga lume se reflectă într-un mic glob de grădină.

Globul de grădină ne oferă însă posibilități mult mai mari. Cel mai interesant este faptul că în el putem vedea întreaga suprafață a sferei cerești (mai corect vorbind, și cerul, și pămîntul), cuprinsă în interiorul unui cerc. Globul de grădină funcționează ca un instrument optic cu apertură ideal de mare. Desigur, aceasta este posibil numai în măsura în care toate imaginile apar deformate; ele sînt contractate radial cu atît mai mult cu cît sînt mai aproape de „marginea" sferei (vezi fig. 14). Pentru simplitate, să presupunem că atît obiectul observat, cît și observatorul se află la o distanță mare de glob (în comparație cu raza R a globului); în acest caz, obiectul aflat într-o direcție care formează unghiul a cu linia CO, se va reflecta la o distanță $r = R \sin \alpha/2$ de centrul sferei. Se vede că, pe măsură ce α crește, pînă la 180°, r crește pînă la R și, astfel, toate lucrurile de pe pămînt, precum și cerul se vor reflecta de fapt în glob. Din imagine lipsește numai porțiunea redusă a spațiului care se află exact dincolo de glob și care devine cu atît mai mică, cu cît ne îndepărtăm mai mult de glob.

Helmholtz a remarcat odată că peisajul deformat de glob ar trebui să apară absolut normal, dacă măsura liniară folosită ar fi deformată după aceeași lege. Această afirmație este strîns legată de principiile teoriei relativității.

Globul de grădină poate fi folosit pentru observații foarte fine în domeniul opticii meteorologice, dat fiind că în el se vede bine o mare parte din cer[1].

Dacă stați la cîțiva metri de glob, astfel ca reflexia Soarelui să fie acoperită de capul dumneavoastră, veți putea observa, cu o claritate uimitoare, o serie de fenomene (asupra cărora vom reveni în capitolele următoare):

a) inele, halo, curcubeie, inelul lui Bishop, umbrele de crepuscul; deosebit de clar reflectă globul deosebirile dintre imaginea cerului în zilele cînd aerul este curat și în zilele cînd aerul este tulbure (opalescent);

b) petele lui Haidinger și polarizarea lungimii cerului.

Din cauza micșorării imaginii, variația treptată a nuanțelor apare mai pronunțată, astfel că diferențele de strălucire și culoare devin mai evidente pentru ochi. Pe suprafața strălucitoare a unei sonerii de bicicletă se pot vedea adeseori nori ușori, care trec neobservați cînd privim direct cerul.

13. Reflexia în baloanele de săpun

Multe experiențe cu baloanele de săpun au fost efectuate de Gh. Boyce. El recomandă lansarea acestora în aer liber.

Pentru aceasta, trebuie să alegem o zi fără vînt și un loc ferit de mișcările aerului. În aceste condiții se pot observa reflexiile pe pelicula subțire a baloanelor în toată splendoarea lor.

Jumătatea de sferă îndreptată spre noi este o oglindă convexă și dă aceleași imagini drepte ca și globul de grădină. Cu cît imaginile sînt mai apropiate de margini, cu atît ele se contractă și se curbează mai mult.

Totodată, prin suprafața baloanelor de săpun se vede și partea sa posterioară, care joacă rolul unei oglinzi concave. Ea dă imagini răsturnate. Imaginile drepte și cele răsturnate au aceeași mărime, dar ele nu se suprapun, deoarece prima imagine este mai apropiată de ochiul nostru decît cea de-a doua. Imaginea dreaptă se află la distanța r/2 înaintea centrului bășicii, iar cea răsturnată la distanța r/2 dincolo de centru.

Este interesant de observat:

1) reflexia dublă a cerului senin;

---

[1] Fr. Volz, „Photographische Wissenschaft", 3, 3, 1954.

2) silueta capului nostru care apare întunecată pe fondul luminos;
3) forma sensibil deformată a acoperişurilor caselor;
4) imaginea mărită a mîinii noastre care ține la un capăt tubul cu baloanele de săpun (aceasta se vede deosebit de clar pe partea concavă a balonului);
5) reflexia pe partea concavă a balonului a celuilalt capăt al tubului din care a ieşit balonul.

Deosebit de frumos este jocul culorilor de curcubeu care, din cauza alternanţei multiplelor nuanţe, devine din ce în ce mai bogat... pînă cînd balonul plesneşte. Acest joc de culori se datoreşte interferenţei (culorile lui Newton) (§ 172).

Încercați să fotografiați un balon de săpun şi reflexiile pe balon!

14. Neuniformități pe suprafața apei

Gîndiți-vă la o băltoacă situată într-o adîncitură, unde nu ajunge vîntul care să agite apa. Ici-colo ies din apă fire de iarbă sau de trestie. Observați următorul fenomen interesant: fiecare fir este înconjurat de cîte o pată de lumină în locul în care iese din apă. Avem de-a face cu fenomenul de capilaritate; datorită tensiunii superficiale, apa se ridică în jurul bazei tulpinii. Mica încrețire a apei, care se formează, reflectă lumina şi ea poate fi văzută la distanțe mari. Dacă o parte a ochiului de apă reflectă panta întunecată a dunelor, iar cealaltă parte cerul luminos, în apropierea hotarului dintre cele două părți se poate vedea cum toate încrețiturile reflectă o combinație de întuneric şi lumină, în funcție de direcția după care privim.

Tot astfel, în rîuri, pretutindeni unde există o cît de slabă scurgere, se pot vedea mici vîrtejuri. În interiorul vîrtejurilor, presiunea este ceva mai mică şi la suprafață se formează o mică adîncitură. Diametrul acestei adîncituri este de circa 4 cm, iar adîncimea de cîțiva milimetri. În apropierea graniței dintre imaginile întunecate şi cele luminoase se pot vedea pe suprafața apei chiar şi cele mai mici perturbații. Adeseori se văd limpede micile şuvoaie.

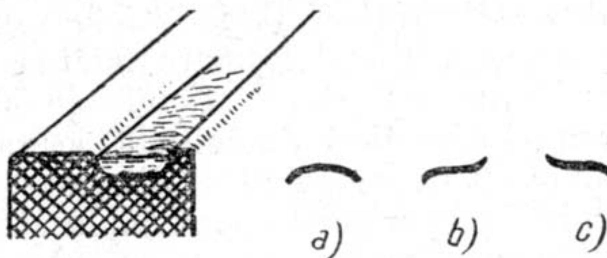


Fig. 15. Apa de ploaie formează în şinele de tramvai o oglindă curbată.

Abia a stat ploaia. În şinele de tramvai s-a adunat apă şi iată că observăm reflectîndu-se în direcția orizontală o oarecare linie transversală. Este firul care susține conducta electrică a tramvaiului. Privind de-a lungul şinei vedem că imaginea este deformată simetric (fig. 15, a). Aceasta indică clar că suprafața apei este curbată şi formează un menisc capilar. Dacă ne aşezăm în stînga şinei, imaginea se deformează ca în fig. 15, 6, iar dacă stăm în dreapta şinei, imaginea apare ca în fig. 15, c. Încercați să explicați de ce imaginile au această formă.

Reflexii pe o suprafață curbată de lichid se pot observa de pe un vapor, privind valurile care se mişcă împreună cu vaporul. Dar trebuie să stăm pe acelasi loc şi să ne uităm mereu în aceeaşi direcție. O atenție deosebită merită modificările formelor reflexiilor pe primul val la prora vasului. Imaginile sînt foarte mult contractate; ele sînt fie drepte, fie inversate, în funcție de faptul dacă va uitați pe partea convexă sau concavă a suprafeței.

15. Sticla de geam şi de oglinda

Privind reflexiile în geamurile caselor puteți stabili de îndată din ce sînt făcute: din sticlă obişnuită sau din sticlă de oglindă. Dacă geamul e făcut dintr-o sticlă de oglindă, imaginile sînt relativ fidele. Dacă sticla este însă obişnuită, imaginile sînt atît de deformate, încît se observă imediat neuniformitățile suprafeței sticlei. Se observă lesne dacă două geamuri din sticlă de oglindă, aşezate în acelaşi rînd, nu se află exact în acelasi plan, deoarece, în acest caz, imaginile marginii acoperişurilor sînt deplasate una față de cealaltă. De asemenea, pe o sticlă de oglindă de bună calitate se observă imediat micile defecte sau că suprafața ei nu este perfect plană.

16. Oglinda de stradă

La încrucişările periculoase ale străzilor se pun deseori oglinzi care sînt, de obicei, de proastă calitate. Seara se poate vedea cum se deplasează, se dublează şi se alungesc în aceste oglinzi imaginile felinarelor de stradă. Este surprinzător însă că, din apropiere, o astfel de oglindă nu pare chiar atît de proastă.

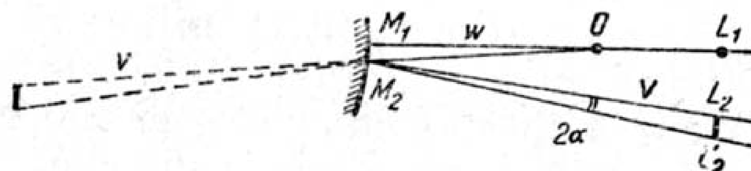


Fig. 16. Deformaţia imaginii într-o oglindă proastă.

Uitaţi-vă la ea de aproape şi de la distanţă. După cum am arătat mai înainte (§12), observatorul vede imaginea unui obiect într-o porţiune mică a oglinzii, dacă se află în imediata ei apropiere, şi într-o porţiune mare a oglinzii, dacă este departe de ea. Cu cît porţiunea „de lucru" a oglinzii este mai mare, cu atît mai mare este abaterea ei de la pla-neitate. Un mic calcul ne va permite să înţelegem mai bine fenomenul (fig. 16).

Un observator O situat, la distanţa w de o oglindă plană, vede obiectul L_1 care se află la distanţa v de oglindă, reflectat de porţiunea de suprafaţă M_1. Obiectul L_2 este reflectat de porţiunea vecină de suprafaţă, M_2. Dacă însă oglinda nu este plană şi perpendicularele la suprafaţa oglinzii în punctele M_1 şi M_2 se intersectează sub unghiul a, raza de lumină va fi deviată cu unghiul 2α şi obiectul pare deplasat cu distanţa $L_1L_2 = 2\,\alpha\,v$.

Observatorului i se pare însă că vede obiectul la distanţa v în spatele oglinzii, astfel că obiectul se îndepărtează de ochiul său cu distanţa v + w. Deci el percepe deplasarea obiectului ca o deplasare cu unghiul 2 α. Ţinînd seama că unghiul α creşte aproximativ proporţional cu distanţa M_1M_2, la o distanţă dată L_1L_2 acest unghi va fi proporţional cu w/w+v iar deplasarea va fi proporţională cu $vw/(v + w)^2$.

Dacă, de exemplu, v = 10 m, pentru

w	0	0,5	1	2	3	10 m
deformaţia va fi (în unităţi arbitrare).	0	0,5	0,8	1,4	1,7	2,5

17. Reflexia neregulată pe o apă uşor unduită

Fîşiile lungi de lumină de pe suprafaţa apei sînt pentru mine nedespărţite de senzaţiile trăite într-o seară liniştită. Văd Luna reflectată în mare aruncînd un fascicul larg de lumină. Sau îmi amintesc de casele şi turnurile din vechiul Bruges reflectate în canalele liniştite, unde fiecare pată de lumină, fiecare bandă colorată se alungeşte pe verticală şi pîlpîie necontenit, devenind cînd mai strălucitoare, cînd mai întunecată, aprinzîndu-se şi stingîndu-se.

Este interesant că în reflexii găsim numai linii verticale. Un coş sau un catarg înalt şi subţire se reflectă foarte net, însă linia pronunţată a acoperişurilor dispare. Trunchiurile verticale ale copacilor se reflectă foarte clar, în timp ce trunchiurile care au o înclinaţie cît de mică se reflectă mai puţin clar, iar ramurile lor înclinate dispar complet. Gîtul zvelt al lebedei se reflectă ca o fîşie de lumină strălucitoare, în timp ce corpul păsării se pierde în mişcarea apei.

Putem observa un fenomen elementar de acest gen noaptea privind lumina felinarelor de pe stradă.

Peisajul reflectat poate fi considerat un ansamblu de puncte luminoase, dintre care fiecare se alungeşte prin reflexie într-o linie verticală. Dacă contururile peisajului sînt verticale, aceste linii se suprapun şi se intensifică; dacă contururile sînt orizontale, ele se înşiruie una lîngă alta şi lărgesc conturul.

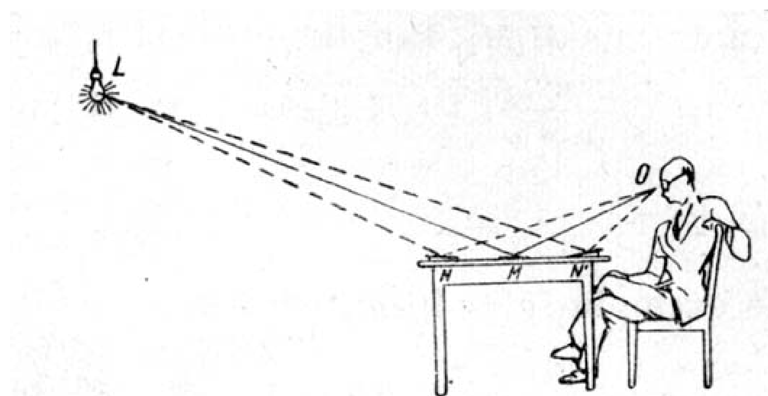


Fig. 17. Cum se formează pata de lumină reflectată.

Lucrul esențial care trebuie explicat este faptul că un punct de lumină se transformă într-o dîră lungă orientată înspre ochiul nostru, în timp ce undele înseşi sînt împrăştiate pe suprafață cu totul neregulat şi apar la fel de des în toate direcțiile.

Observînd reflexia Lunii sau a unui bec într-o apă apropiată uşor încrețită, ne dăm seama că, în realitate, fiecare undă mică dă cîte o imagine separată. Toate undele iluminate formează împreună o pată lunguiață a cărei axă mare se află în planul vertical care trece prin ochi şi sursa de lumină.

Pentru a înțelege cum apare dîra luminoasă, să începem cu o experiență simplă (fig. 17).

Aşezați-vă la masă, puneți pe ea o oglindă M astfel ca razele lămpii L să vă cadă, după reflexie, în ochi. Puneți acum sub oglindă o bucată de carton, astfel ca oglinda să fie înclinată înspre dumneavoastră. Veți observa că oglinda reflectă acum obiectele care se află deasupra lămpii. Dacă doriți ca să vă cadă în ochi o rază din punctul L, trebuie să deplasați oglinda pînă în punctul N'. Să punem acum cartonul în partea cealaltă, astfel ca oglinda să fie înclinată în direcția opusă şi să deplasăm oglinda în punctul N'. În aceste două poziții înclinate oglinda va reprezenta pozițiile extreme ale undelor pentru care lumina reflectată mai ajunge în ochiul nostru. Distanța între N şi N' va fi astfel lungimea dîrei luminoase. În toate punctele între N şi N' se vor găsi părți de undă care vor avea o înclinație suficientă pentru a reflecta razele în direcția ochiului nostru. Cu cît vor fi mai multe asemenea porțiuni, cu atît mai strălucitoare va fi dîra luminoasă în punctul dat.

Aşadar, problema constă în calculul, cu ajutorul teoriei probabilităților, al distribuției medii de intensitate luminoasă într-o astfel de dîră. Acest lucru este destul de complicat[1]. Simplificînd întrucîtva problema, să presupunem că înclinarea undei nu depăşeşte un anumit unghi α şi să încercăm să determinăm numai marginile benzii de lumină. Vom formula această problemă astfel: dacă în orice punct al suprafeței există un număr apreciabil de mici unde reflectante care au aceeaşi înclinare a, însă orientări diferite, care vor fi marginile benzii iluminate? Şi chiar astfel simplificată, problema rămîne încă destul de dificilă.

---

[1] Cox and Munk, „J. Optic. Soc. Amer.", 44, 838, 1954.

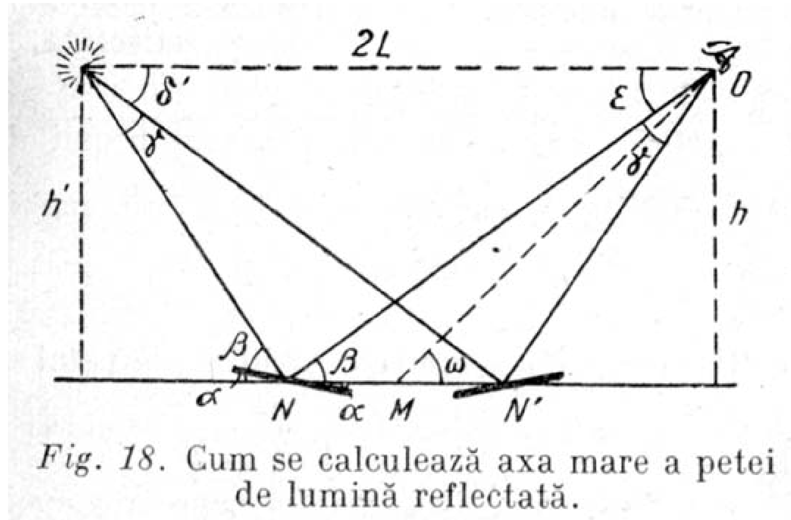


Fig. 18. Cum se calculează axa mare a petei de lumină reflectată.

1. Cazul cel mai simplu: h = h'; observatorul şi sursa de lumină se află la acelaşi nivel deasupra suprafeţei apei (fig. 18).

O mică oglindă orizontală aruncă lumina în ochiul observatorului O cînd ea se află exact la mijloc, pe locul reflexiei obişnuite M. Oglinda înclinată sub unghiul α trebuie deplasată puţin din mijloc pentru ca să reflecte lumina spre observator. Cît de mare este distanţa cu care trebuie deplasată? Dacă deplasarea va avea loc în planul vertical care trece prin ochi şi sursa de lumină, răspunsul este uşor de dat. Fie N — poziţia oglinzii deplasate într-o direcţie şi N' — poziţia pentru cealaltă direcţie. Din motive de simetrie MN = MN'. Să studiem acum unghiurile între razele de lumină; evident că

$\beta + \alpha = \gamma + \delta$
$\beta - \alpha = \varepsilon = \delta$

De aici

$\gamma = \beta + \alpha - (\beta - \alpha)$

Unghiul sub care vedem axa cea mai mare a petei luminoase este egal cu unghiul dintre înclinările maxime ale undelor (fig. 19).

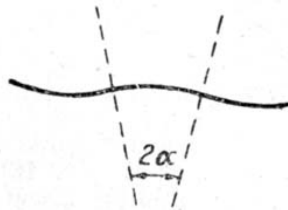


Fig. 19. Unghiul dintre înclinările undelor.

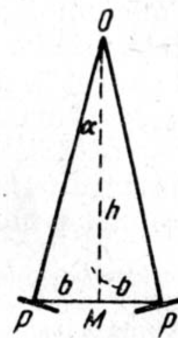


Fig. 20. Cum se calculează axa mică a petei de lumină reflectată.

Să deplasăm oglinda noastră în planul care trece prin M, perpendicular la dreapta care uneşte ochiul cu sursa de lumină şi să notăm cu P şi P' punctele în care apar reflexii satisfăcătoare (fig. 20). Evident că MP = MP' = h*tg α. Aşadar, lărgimea benzii de lumină este egală cu 2b = 2h tg α iar axa mică formează unghiul $PP'/OM = 2h \text{ tg } \alpha / \sqrt{l^2+h^2}$

Raportul dintre cele două semiaxe vizibile ale petei de lumină este deci

$h \cdot \text{tg } \alpha / \alpha \cdot \sqrt{h^2+l^2}$ sau aproximativ $h / \sqrt{h^2+l^2} = \sin \omega$ dacă pata nu este prea mare.

De aceea, dacă privim suprafaţa apei de pe o colină, avem impresia că pata este numai puţin alungită (ω este mare, sin ω este apropiat de 1). Cu cît este mai mic unghiul sub care privim apa, cu atît mai alungită este pata. Dacă privirea noastră ar aluneca pe suprafaţa apei, pata ar deveni infinit de îngustă.

Trebuie să distingem totdeauna „ovalul primar", adică curba imaginară de pe apa încreţită, care pare să delimiteze pata de lumină, de „ovalul secundar", care apare din primul, prin proiecţia acestuia pe planul perpendicular la privirea noastră. Axele primului oval pot fi calculate foarte simplu, însă întreaga figură constituie o curbă complexă de gradul şase, simetrică faţă de M. Al doilea oval devine uşor asimetric, el are lărgimea maximă nu în punctul M unde am notat intersecţia axelor, ci mai aproape de noi. Această asimetrie este deosebit de vizibilă, atunci cînd privim suprafaţa apei sub un unghi mic.

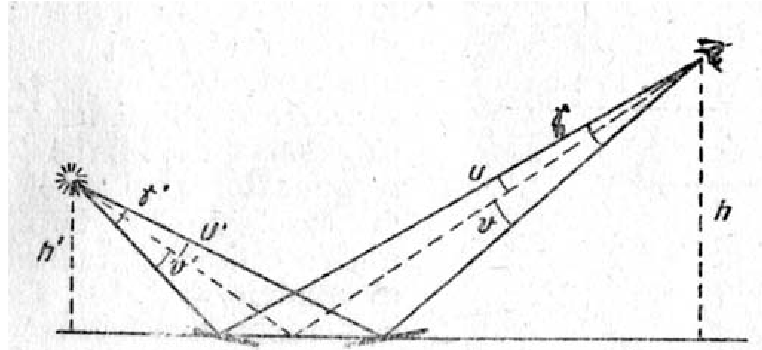


Fig. 21. Observarea unei pete de lumină de la o înălţime care diferă de înălţimea sursei de lumină.

2. Cazul general: $h \neq h'$ (fig. 21).

Prin raţionamente analoge putem demonstra două proprietăţi fundamentale:

$u + v' = 2\alpha$

$u' + v = 2\alpha$

$u+v'+u'+v' = \gamma + \gamma' = 4\alpha$

Calculele ulterioare arată că pata rămîne mai mult sau mai puţin eliptică, însă rezultatul este destul de complicat. Practic, diferenţa în înălţime dintre h şi h' influenţează numai dimensiunile petei luminoase, nu şi forma ei; cu aproximaţie astfel că

$\gamma / \gamma' = h'/h$ astfel că, $\gamma = 4\alpha * h'/(h+h')$

3. Cazul particular: $h' = \infty$. Acesta este cazul reflexiei Soarelui, Lunii şi a unor felinare de stradă foarte înalte.

Formulele devin acum: $\gamma = 4\alpha$; $PP' = h * \text{tg } 2\alpha$ (aceasta se poate demonstra). Axele ovalului formează aproximativ unghiurile 4α şi $4\gamma = 4\alpha * \sin\omega$. Raportul dintre lungimea şi lărgimea vizibilă a petei luminoase este astfel egal cu sin ω, adică este acelaşi ca în cazul 1; deosebirea constă în faptul că toate dimensiunile sînt de două ori mai mari.

Putem să ne facem fără prea multe calcule o idee despre distribuţia luminii în aceste imagini în felul următor (fig. 22). Să considerăm o suprafaţă reflectantă de dimensiuni foarte mici, aşezată aproape de centrul unei sfere mari. Perpendiculara la suprafaţa liniştită a apei trece prin punctul N: perpendicularele la undele înclinate (cu unghiul de înclinare α) sînt cuprinse într-un cerc mic cu raza unghiulară a şi centrul în N. Sursa de lumină la infinit este reprezentată pe sferă de punctul L; imaginea ei pe sferă cade în punctul N'. Pentru a găsi cum reflectă razele o suprafaţă perpendiculară la OS, este suficient să construim un arc de cerc mare LS şi să-l prelungim pînă în S' astfel ca SS' = SL. Se vede, astfel, imediat că razele reflectate de toate undele mici formează un con cu o secţiune transversală ovală; ovalul devine mai alungit pe măsură ce se micşorează unghiul sub care privim suprafaţa apei. Este, de asemenea, foarte uşor de înţeles de ce conul limitat de direcţiile de privire ale observatorului, adică de liniile duse din ochi pînă la marginile petei luminoase, are aceeaşi formă.

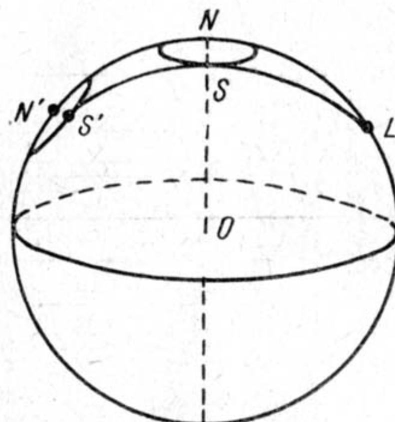


Fig. 22. Apariţia dîrelor de lumină explicată cu ajutorul construcţiilor pe sferă.

Să tragem concluziile calculului nostru din punctul de vedere al observatorului practic. În primul rînd, dacă ne situăm deasupra suprafeţei apei la aceeaşi înălţime ca şi sursa de lumină, unghiul corespunzător axei mari a petei luminoase este totodată unghiul 2 α dintre cele două înclinaţii maxime ale undelor (fig. 19). Corespunzător cu aceasta, axa transversală a petei este cu atît mai mică cu cît privim mai oblic suprafaţa apei.

În al doilea rînd, dacă sursa de lumină se află la o înălţime mai mare deasupra apei decît ochiul nostru, dimensiunile petei luminoase (măsurate unghiular) se măresc în toate direcţiile; ele se dublează aproape în comparaţie cu mărimea lor iniţială, dacă sursa se îndepărtează la infinit, însă raportul dintre axa mare şi axa mică rămîne aproape acelaşi.

Comparaţi dîra luminoasă aruncată de Lună cu aceea dată de o lampă, a cărei imagine este orientată aproximativ în aceeaşi direcţie. Dîrele de lumină sînt cu atît mai mari, cu cît ele sînt mai îndepărtate de sursa de lumină. Obiectele care se află lîngă apă dau imagini aproape punctiforme, nealungite. Comparaţi diferite dîre de lumină observate sub unghiuri diferite faţă de suprafaţa apei. Determinaţi unghiul 2 α din lungimea petelor de lumină (în unităţi de unghi) la intensităţi diferite ale vîntului.

Observaţi cît de frumoase sînt dîrele de lumină verticale, lungi şi regulate, care se formează pe timp de ploaie; undele, deşi mici, au înclinaţii foarte mari.

Comparaţi dîrele de lumină de la Soare şi de la Lună în condiţii egale: din cauza intensităţii de lumină mult mai mari, dîra solară este mai strălucitoare; diferitele pante foarte înclinate se evidenţiază mai mult şi aceasta e suficient pentru ca noi să mutăm graniţele dîrei mai departe de observator.

18. Studiul detaliat al coloanelor de lumină

E interesant, de asemenea, de urmărit forma reflexiilor pe fiecare undă în parte. Pe toate se formează o pată de lumină alungită în direcţia orizontală; pata se întinde, transformîndu-se într-o mică linie, pe măsură ce Soarelele apropie de orizont, iar toate aceste benzi minuscule de lumină formează împreună coloana verticală (fig.23 stînga).

La capătul dinspre noi al coloanei de lumină putem vedea clar cum dîra de lumină se alungeşte sau se scurtează în funcţie de gruparea undelor pe apă, în timp ce la capătul celălalt, îndepărtat, benzile se contopesc treptat.

Foarte interesantă este apariţia unor inele de lumină închise, atunci cînd sursa de lumină se află la o înălţime mare deasupra apei şi are o suprafaţă întinsă (de exemplu, reclamele de neon; fig. 23, dreapta).

De aceste reflexii mai este legată o altă particularitate a perspectivei. Fiecare coloană se află în planul vertical care trece prin ochiul observatorului şi sursa de lumină (în ceea ce priveşte excepţiile vezi§ 19). Cînd desenez, eu proiectez tot ceea ce vreau să reprezint pe planul vertical din faţa mea şi, de aceea, fiecare pată de lumină trebuie să aibă direcţie verticală, chiar şi atunci cînd nu se găseşte în centrul tabloului. Pe unul din tablourile lui Claude în Florenţa, Soarele este pictat foarte aproape de marginea pînzei. Artistul a pictat coloana de lumină care cade oblic de la Soare în centrul planului

anterior, însă aceasta este greşit[1].

Vizaţi cu aparatul fotografic marea iluminată de Soare şi observaţi pe sticla mată distribuţia luminii reflectate de valuri; de aici se poate calcula înclinarea undelor şi direcţia lor predominantă; dintr-o singură privire putem să ne formăm o impresie generală despre suprafaţa apei şi această impresie poate fi fixată pe placa fotografică.

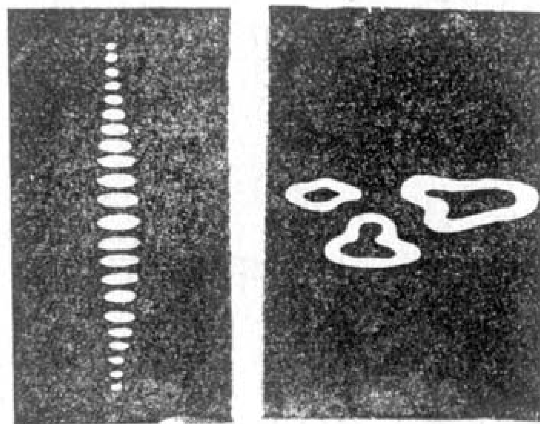


Fig. 23. În stînga — pată de lumină pe o suprafaţă de apă uşor ondulată; în dreapta — reflexia unei surse de lumină situată la înălţime.

19. Reflexia pe o fîşie de apa uşor unduită

Dîrele de lumină sînt deseori asimetrice; dacă stai la marginea canalului şi te uiţi la felinarul de pe partea cealaltă, care se află, să zicem, spre dreapta, coloana de lumină nu se mai află în planul vertical care trece prin ochiul observatorului şi sursa de lumină; ea se înclină apropiindu-se de direcţia canalului (fig. 24).

Totuşi teoria noastră a fost corectă. Gînd plouă şi nu e vînt, petele de lumină sînt riguros verticale, din orice direcţie am privi. Cauza abaterilor menţionate mai sus o constituie vîntul care bate de-a lungul canalului şi care produce unduirea transversală a apei (fig. 25).

În consecinţă, aici nu mai poate fi vorba de formarea ideal neregulată a undelor. Pentru a ne convinge de aceasta, menţionăm următoarele observaţii:

1. Pe suprafaţa unui rîu larg abaterea coloanelor luminoase este mult mai puţin sistematică; nu predomină orientarea perpendiculară a undelor la direcţia malului.
2. Cînd apa este acoperită cu gheaţă, în stratul de gheaţă există o mulţime de mici bucăţi care reflectă lumina; reflexia este foarte clară şi verticală.
3. Pe o stradă asfaltată umedă, după ploaie, se pot observa aceleaşi abateri ca şi pe un canal într-o zi cu vînt, dacă observăm pe suprafaţa umedă reflexiile felinarelor şi ale farurilor maşinilor şi bicicletelor. Se constată că aceste neuniformităţi se datoresc circulaţiei de pe stradă (o problemă în sine foarte interesantă este însuşi modul lor de apariţie!). Privind atent suprafaţa străzii, observăm imediat neuniformităţile care se aseamănă cu nişte unde adevărate cu crestele orientate perpendicular la direcţia străzii.

.

[1] Ruskin, Modern Painters, I, partea a II-a.

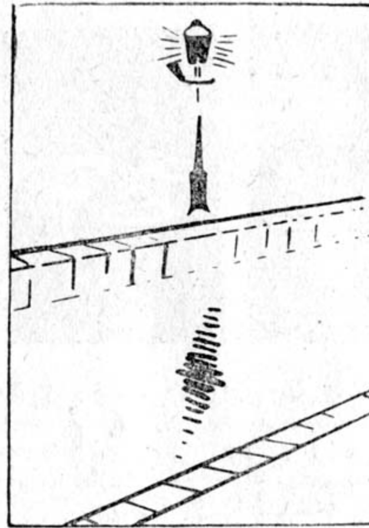


Fig. 24. O privelişte ciudată! Imaginea nu se află în planul vertical în care se află ochiul şi sursa de lumină.

Acest fenomen încă n-a fost studiat în amănunt, însă cu ajutorul proiecției pe sferă, menționată înainte, putem să înțelegem trăsăturile sale fundamentale, cel puțin pentru cazul unei surse de lumină la infinit (fig. 22). Dacă perpendicularele la suprafață sînt distribuite pe un arc NS, razele reflectate vor fi orientate înspre puncte diferite ale sferei, aşezate pe arcul N'S'; axa dîrei de lumină nu se va mai afla în planul LNN', ci va fi deplasată lateral[1].

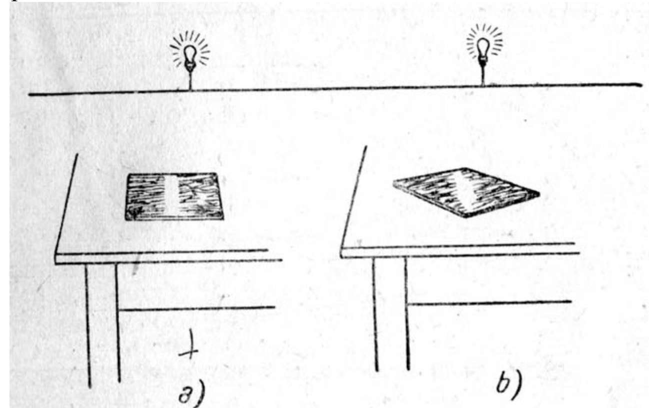


Fig. 25. Cum apar petele înclinate de lumină, cînd umbrele au o anumită direcție:
a) benzile de pe placă, reprezentînd un şir de unde, sînt perpendiculare la direcția sursă de lumină-ochi; *b)* benzile sînt aşezate oblic față de această direcție.

20. Reflexia pe o suprafață mare de apă, acoperită cu unde (fotografia II)[2]

Reflexia pe suprafața agitată a mării este însoțită întotdeauna de un fenomen pe care-l vom numi deplasarea imaginii spre orizont (fig. 26). Imaginea A'B' a marginii A B a unui nor pe cerul albastru este mult mai aproape de orizont decît însăşi marginea[3] AB. Imaginea unei margini care se află la 25° sau 35° de orizont nici nu va putea fi văzută. Toate imaginile vor fi, desigur, deformate

---

[1] Minnaert, „Physica", 9, 925, 1942; van Wieringen, „Proc. Acad. Amsterdam", 50, 952, 1947.
[2] E. O. Hulburt, „J. Optic. Soc. Amer.", 24, 35, 1934; Suleikin, Fizika moreq, M., 1941.
[3] Vezi picturile lui Aivazovski din Muzeul rus (Leningrad): Litoralul mării (1841), Studiu de nori (1889).

neuniform, însă acțiunea acestui fenomen este atît de puternică, încît el influențează sensibil chiar distribuția generală a luminii pe întreaga suprafață vizibilă a marii. Prin aceasta se poate explica faptul că dunele, copacii de pe mal etc. nu se reflectă niciodată în mare, deoarece nu sînt suficient de înalți. Din același motiv nu vedem decît foarte rar reflexiile vaselor, deoarece pata întunecată care ar trebui să se formeze aproape se contopește cu vasul.

Reflexia Soarelui în valuri este o pată orbitor de strălucitoare, care, pe măsură ce Soarele se apropie de orizont, devine mai mult sau mai puțin triunghiulară. Acest fenomen indică, de asemenea, deplasarea imaginii spre orizont.

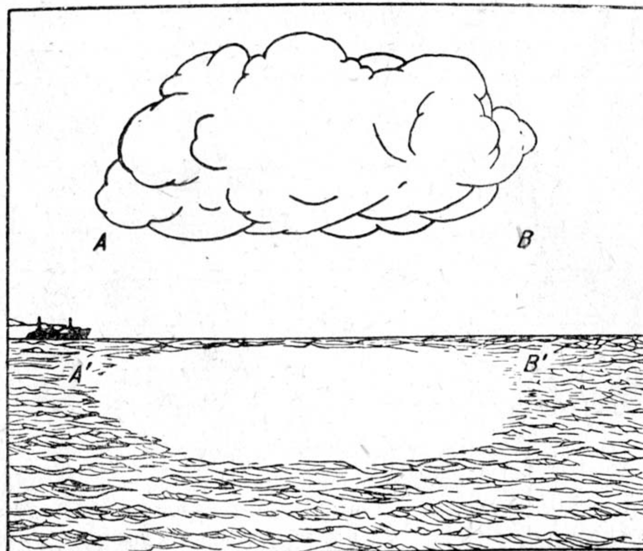


Fig. 26. Reflexia pe mare: imaginba norului este deplasată înspre orizont.

Deplasarea imaginii înspre orizont poate fi explicată ușor. La distanță mare vedem numai acele laturi ale valurilor care sînt îndreptate spre noi. De aceea, toate obiectele par să se reflecte într-o oglindă înclinată (fig. 28). Prin urmare, dacă cele care se află la mai puțin de 30° de apă nu se reflectă, înclinația undelor în orice direcție este de circa 15° (în cazul cînd marea nu este nici prea liniștită, dar nici furtunoasă).

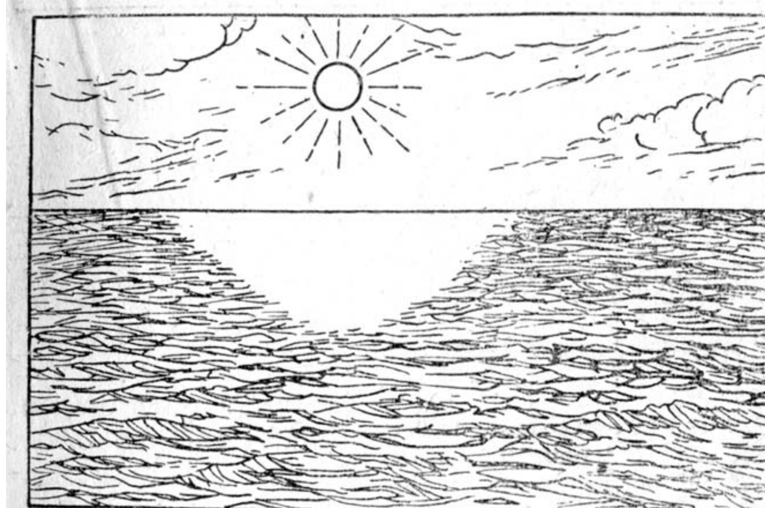


Fig. 27. Marea˙ iluminată de Soare.

De ce n-am amintit de acest fenomen în partea teoretică din § 17? Pentru că acolo nu am considerat cazul $\omega < 2\alpha$, cînd privim suprafața apei sub un unghi foarte mic. Așadar, fenomenele pentru care calculele noastre nu sînt aplicabile sînt legate de o suprafață de apă foarte întinsă, în special

de mare. Cu cît marea este mai liniştită, cu atît privirea noastră trebuie să fie mai înclinată.



Fig. 28. Explicarea deplasării imaginii; raza reflectată trece mai aproape de suprafaţa apei decît raza incidentă.

Că acest lucru este adevărat se poate observa imediat dacă privim marea iluminată de Soare. Dîra de lumină atinge aici orizontul şi nu mai putem determina înclinarea undelor din lungimea dîrei luminoase, ci trebuie să aplicăm o alta metodă; dacă înclinarea undei devine mai mare, atunci la orizont o fişie din ce în ce mai largă va fi acoperită de o lumină scînteietoare (vezi fotografia II).

Măsuraţi unghiul Δ care determină lărgimea petei luminoase la orizont. Măsuraţi, de asemenea, înălţimea Soarelui ω şi calculaţi de aici înclinarea undei α cu ajutorul diagramei (fig. 29) sau cu ajutorul formulei lui Spooner, simplificată pentru altitudini solare mai mici de 15°; $\alpha = \Delta /2\omega$ radiani (l radian = 57°).

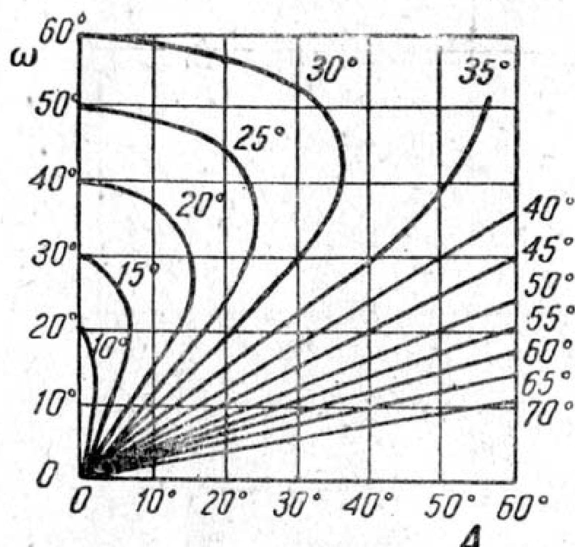


Fig. 29. Fiecărei perechi de valori observate ω şi Δ îi corespunde un anumit punct. Găsiţi poziţia sa faţă de curbe, fiecare curbă corespunzînd unei anumite valori α („J. Optic. Soc. Amer.", **24**, 35, 1934).

Pe o mare foarte liniştită, Soarele care apune şi răsare dă o imagine aproape liniară, care, contopindu-se cu discul de foc al Soarelui, formează o figură asemănătoare cu litera Ω (fig. 30). Cîteodată, pe o mare foarte liniştită, imaginea eliptică a Soarelui poate fi văzută chiar atunci cînd Soarele se află la 1° deasupra orizontului, dar, de obicei, transformarea într-o pată triunghiulară are loc foarte rapid. În aceste cazuri începe să conteze curbura suprafeţei Pămîntului; dacă n-ar exista de loc valuri, s-ar putea vedea clar că Pămîntul e rotund, însă în toate cazurile studiate pînă în prezent, chiar şi în cele mai favorabile, deplasarea spre orizont rămîne încă de două ori mai mare decît cea care ar corespunde numai curburii Pămîntului.

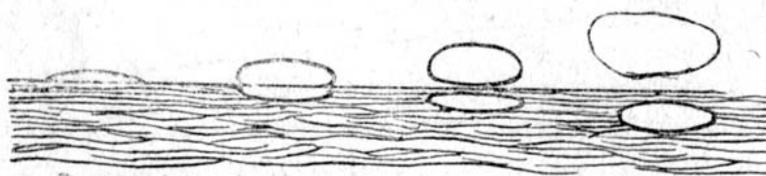


Fig. 30. Putem oare deduce curbura suprafeţei terestre din reflexia Soarelui care răsare pe o mare foarte liniştită?

21. Vizibilitatea valurilor foarte mici

Valurile foarte mici pot fi observate mai uşor dacă privim crestele lor sub un unghi drept decît dacă aceste creste sînt paralele cu privirea noastră. De aceea, pentru a vedea cum ridică vîntul valurile pe suprafaţa unui canal trebuie să privim, de obicei, într-o direcţie paralelă cu canalul. Tocmai din această cauză, valurile splendide care se întretaie în spatele unui vas sînt uşor vizibile de pe punte, în timp ce de pe mal ele sînt practic neobservabile. Acest fenomen se explică în acelaşi mod ca şi transformarea imaginii felinarului într-o dîră luminoasă. Dacă priviţi unda sub un unghi drept vedeţi, cum s-ar zice, axa mare a petei luminoase; dacă vă uitaţi în direcţia paralelă se vede axa mică. Valurile produc perturbaţii mai mari pe suprafaţa apei în direcţia perpendiculară la crestele lor.

22. Petele de lumină de pe suprafaţa unei ape murdare

Chiar şi în cazul cînd suprafaţa apei este lucie ca oglinda vedem, adeseori, seara, dîre luminoase în reflexia luminilor de pe stradă. Aceste dîre nu seamănă cu licărirea frumoasă a luminii pe valuri; ele sînt perfect liniştite şi imobile. Dîrele apar acolo unde suprafaţa apei este murdară; probabil particulele de praf formează pe suprafaţa apei o mulţime de neuniformităţi minuscule, care, din punct de vedere optic, sînt echivalente cu mici valuri. E de aşteptat ca dîrele de lumină să devină cu atît mai înguste, cu cît privim mai oblic suprafaţa — şi, într-adevăr, aşa se şi întîmplă.

La o incidenţă aproximativ verticală a razei, aceste pete de lumină sînt aproape de nedistins; atunci cînd lumina cade sub un unghi mic faţă de suprafaţă, petele apar foarte clar şi indică în mod sigur existenţa prafului pe suprafaţă. O astfel de diferenţă mare în intensităţi trebuie să aibă o cauză specială. Particulele de praf sînt atît de mici, încît sîntem îndreptăţiţi să vorbim despre difuzia şi nu despre reflexia luminii. Pe parcurs vom vedea că difuzia pe astfel de particule este mult mai puternică într-o direcţie apropiată de direcţia razei incidente (§ 189). Iată de ce, cu cît privim sub un unghi mai mic suprafaţa apei, cu atît mai strălucitoare ne apare pata de lumină.

23. Petele de lumină pe zăpadă

Uneori suprafaţa zăpezii este acoperită de un strat de fulgi care au forma unor frumoase şi minuscule discuri şi steluţe plane, mai mult sau mai puţin orizontale. Dacă doriţi să găsiţi pe zăpadă reflexia Soarelui situat la o înălţime mică deasupra orizontului, priviţi dîra frumoasă de lumină care trebuie atribuită abaterilor mici ale unor „plăcuţe de zăpadă" de la planul orizontal. Soarele trebuie să fie aproape de orizont; în acest caz, dîra de lumină se îngustează şi devine mai strălucitoare şi mai uşor de observat.

Seara, în lumina străzii, formarea petelor luminoase este şi mai încîntătoare: pe zăpada proaspăt căzută se reflectă fiecare felinar de stradă!

24. Petele de lumină pe străzi

Pete care amintesc de dîrele luminoase pe suprafaţa acoperită de valuri apar şi pe străzi. Ele sînt deosebit de strălucitoare după ploaie, cînd totul este acoperit de apă şi luceşte. Minunat arată aceste reflexii pe şoselele noastre moderne, asfaltate, însă ele pot fi văzute şi pe străzile pavate şi chiar pe cele acoperite cu pietriş. Chiar şi fără ploaie, şoselele noastre reflectă atît de bine lumina, încît dîrele de lumină apar practic peste tot, cu condiţia să privim sub un unghi suficient de mic (vezi § 19).

25. Reflexiile în băltoace în timpul ploii

Priviți seara, în timpul ploii, reflexia felinarului de pe stradă într-o băltoacă. Imaginea este înconjurată de o mulțime de scîntei care apar în jurul locurilor unde cad picăturile de ploaie și care arată ca niște mici linii luminoase ce diverg dinspre centrul de reflexie (fig. 31). Forel a observat același fenomen privind printr-o sticlă întunecată reflexia Soarelui într-o apă liniștită în care ici-colo se ridicau bule de aer[1].

Aceasta se poate explica foarte ușor. Fiecare picătură produce cîteva unde circulare concentrice, iar reflexiile de pe pantele lor trebuie să fie cuprinse totdeauna într-un plan ce trece prin centrul undelor și imaginea sursei de lumină (fig. 32). Aceasta se poate observa ușor dacă sursa de lumină L și ochiul O se află la aceeași înălțime de suprafața apei și picătura D cade la o distanță egală de L și O. Punctele D_1 și D_2 se află pe dreapta MD; dacă unda circulară se propagă din punctul D, imaginea se mișcă pe o porțiune a dreptei DM; aceasta se întîmplă atît de rapid încît produce impresia unei linii luminoase. Calculul arată că aceste linii sînt mici arcuri de hiperbolă[2].

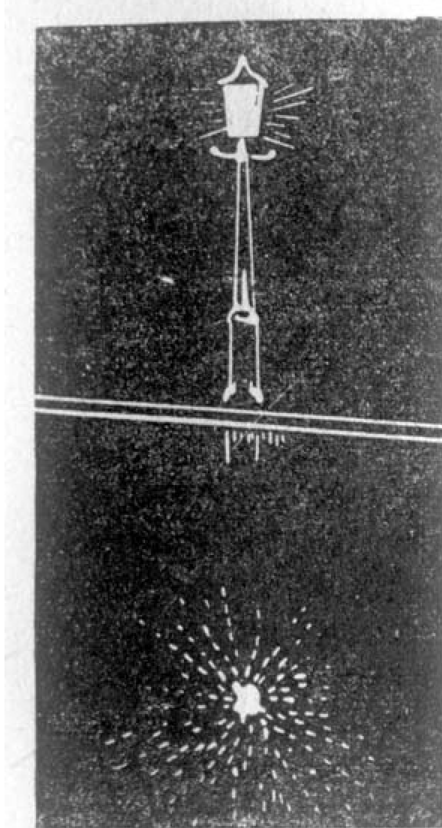


Fig. 31. Picăturile de ploaie în cădere răspîndesc în toate sensurile scîntei de lumină în jurul imaginii felinarului.

---

[1] F. A. Forel, Le Leman, II, Lausanne, 1895, p. 507.
[2] M. Minnaert, „Physica", 9, 1942.

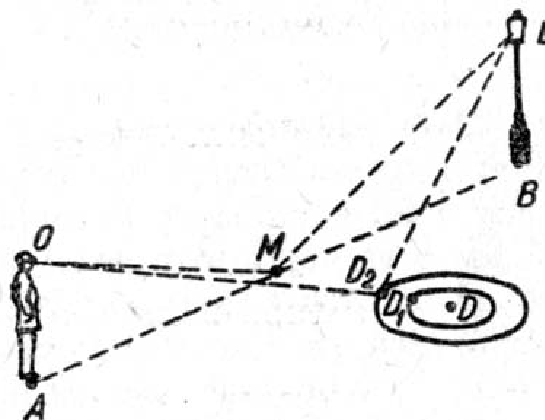


Fig. 32. Apariţia scînteilor în jurul imaginii felinarului.

Acest fenomen poate fi reprodus dacă pe o placă de sticlă, în care se reflectă o lampă, deplasăm un obiect acoperit cu linii circulare concentrice, de exemplu o placă de patefon.

26. Cercurile luminoase pe crengile copacilor[1]

Cînd în spatele unui copac se află un felinar de stradă aprins, noaptea se observă că lumina este reflectată de unele ramuri; aceste pete luminoase sînt, în realitate, benzi luminoase mai lungi sau mai scurte, distribuite concentric în jurul sursei de lumină (fotografia III).

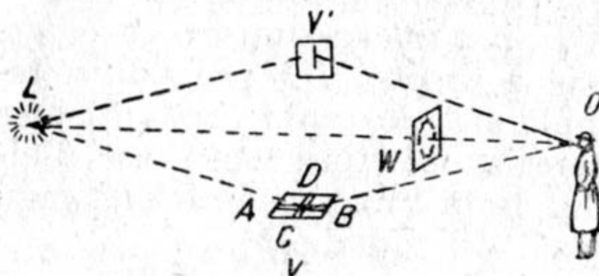


Fig. 33. Apariţia cercurilor de lumină în coroana copacului.

În cazul cînd felinarul este foarte aproape de copac, cel mai bine este să priveşti stînd în umbra trunchiului. Însă acelaşi fenomen poate fi observat şi la lumina Soarelui, în special după ploaie, cînd rămurelele umede şi strălucitoare formează o broderie delicată de benzi luminoase care se leagănă pe un fond întunecat (fotografia IV). Pentru a se feri de lumina orbitoare, observatorul trebuie să se aşeze la umbra unui zid sau a unui acoperiş. Deosebit de frumoase sînt şi ramurile îngheţate care scînteiază în lumina Soarelui.

Toate acestea se explică în modul următor (fig. 33). Imaginaţi-vă o mică porţiune dintr-un plan V care reflectă lumina felinarului în direcţia ochiului nostru. Vom observa că toate ramurile din acest plan strălucesc, însă din cauza deformării prin perspectivă, ramurile în direcţia AB ne vor apărea mult scurtate, în timp ce ramurile din direcţia CD se văd în mărimea lor naturală. Ramurile care se află lîngă V, însă sînt perpendiculare la AB şi CD, nu conţin nici un element de plan orizontal şi nu pot reflecta razele sursei de lumină în direcţia ochiului nostru. Deoarece în toate direcţiile există o mulţime de ramuri, vom vedea în special liniile luminoase CD sub unghiuri drepte faţă de planul OLV. Acelaşi

[1] Fokker, „Physica", 2, 238, 1922; Neuberger, „Meteor. Zs.", 65, 68, 1938.

lucru este valabil şi în ceea ce priveşte alte porţiuni mici de plan, ca V', pe care le vedem deasupra sursei de lumină în dreapta sau în stînga ei; se creează astfel impresia unor cercuri concentrice. Este uşor de observat că direcţia are un rol cu atît mai însemnat, cu cît este mai mic unghiul dintre privirea noastră şi dreapta OL şi ca efectul va fi ceva mai mare atunci cînd sursa se află la infinit — aşa cum este cazul Soarelui —, decît dacă avem un felinar situat în imediata noastră apropiere.

Comparaţi aceasta cu petele de lumină pe suprafaţa ondulată a unei ape (fig. 34). Pentru aceasta trebuie să ne închipuim că ramurile nu sînt aşezate în toate direcţiile, ci numai într-un singur plan (suprafaţa apei). Benzile mici, care se află în acest plan şi caro formează, totodată, porţiuni alo unor cercuri concentrice în jurul lui OL, sînt aşezate fiecare sub un unghi drept faţă de planul OVL şi toate împreună formează o dîră luminoasă în acest plan. Aceasta este cu totul analog cu cazul valurilor pe apă.

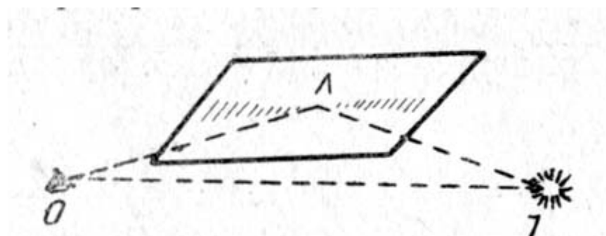


Fig. 34. Comparaţi cercurile luminoase din coroana copacului cu dîrele luminoase pe o suprafaţă de apă încreţită.

Fenomene asemănătoare pot fi observate la apusul Soarelui pe un lan de grîu sau pe vreme de ceaţă, cînd privim felinarele de stradă printr-o pînză de păianjen presărată cu mici picături de rouă. În acest caz strălucesc în special liniuţele perpendiculare la planul de incidenţă a razei; ele dau impresia unor circumferinţe concentrice, distribuite în jurul sursei de lumină.

III. Refracția luminii

27. Refracția luminii la trecerea din aer în apă

Vîsla de care ne servim pentru a împinge o barcă pare frîntă în locul în care intră în apă. Această impresie se datorește refracției razelor de lumină la trecerea din aer în apă sau, invers, din apă în aer. Trebuie observat însă că vîsla „frîntă" nu ne permite în nici un caz sa ne facem o imagine asupra felului în care este deviată raza de lumină; ea este deviată într-o direcție diametral opusă! Aceasta se vede pe fig. 35.

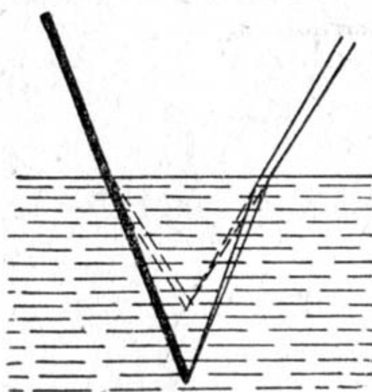


Fig. 35. În urma refracției razelor de lumină, vîsla pare frîntă.

Apreciați cu ochiul adîncimea unui obiect oarecare sub apă și încercați rapid să puneți mîna pe el. De obicei nu veți reuși, deoarece în urma refracției razelor de lumină, obiectul apare mai sus (vezi fig. 35). În realitate, el se află la o adîncime mai mare decît presupuneți. Fenomenul acesta nu e însă atît de simplu, încît să-i putem descrie corect, spunînd că refracția luminii înlocuiește pur și simplu obiectul prin imaginea sa situată la o înălțime ceva mai mare. Cînd veți avea ocazia să treceți, de exemplu, pe jos sau cu bicicleta de-a lungul unui șanț cu apă limpede, îndreptați-vă atenția asupra faptului ca plantele care se află sub apă sînt supuse unor modificări surprinzătoare; imaginile lor deplasate se mișcă și cu cît vă aplecați mai mult spre apa cu atît mai sus se ridică; ele spre suprafață (fotografia V)[1].

Soarele aruncă prin apa transparentă benzi de lumină strălucitoare pe fund, ele se văd ușor în iazuri sau la malul rîurilor. Crestele undelor mici joacă rolul unor lentile care concentrează razele de lumină în focar sub formă de benzi care se mișcă încet împreună cu undele (fig. 36[2] și fotografia VI). Ne-am întîlnit cu un fenomen asemănător în capitolul dedicat reflexiei luminii (fig. 9). Cînd razele cad oblic, benzile de lumină sînt colorate la margini; partea apropiată de Soare este albastră, iar cea îndepărtată de Soare, roșiatică; razele albastre sînt refractate mai puternic decît cele roșii. Acesta este fenomenul de dispersie a luminii.

Aruncați o piatră albă într-o apă adîncă și transparentă și uitați-vă la ea de la oarecare distanță; piatra apare sus albastră și jos roșie[3]; acest fenomen se explică, de asemenea, prin dispersia luminii.

28. Refracția pe o suprafața de apă concavă

Îndată ce suprafața apei nu mai este perfect plană, aceasta se observă după modificarea direcției razelor de lumină refractate, însoțită de o neuniformitate a luminozității pe fund.

---

[1] F. A. Forel, op. cit. p. 456.
[2] Ibidem, p. 454.
[3] L. Boltzmann, Populare Schriften, 59.

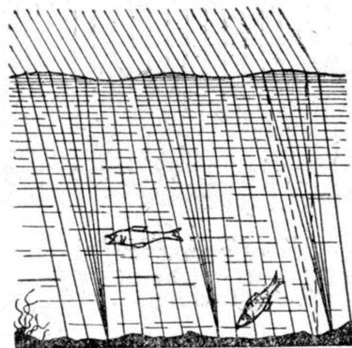


Fig. 36. Razele Soarelui pătrund în apă. Traversînd valurile, razele se refractă şi se strîng în fîşii de lumină. Razele albastre (punctate) sînt deviate cel mai puternic.

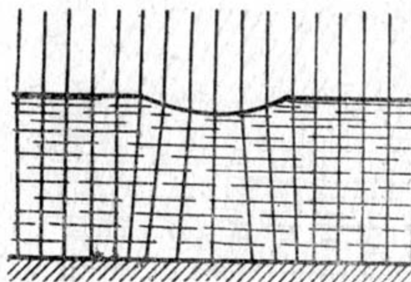


Fig. 37. Adîncitura de la suprafaţa apei acţionează ca o lentilă divergentă.

Uitaţi-vă la micile vîrtejuri dintr-un pîrîu. Fiecare vîrtej formează cîte o mică adîncitură la suprafaţa apei pe care apar imediat pete întunecate ce plutesc peste suprafaţa luminoasă a fundului nisipos. Dacă observam cu atenţie, putem vedea că fiecare pată de acest gen este încadrată de o fîşie luminoasă. Fig. 37 ne explică cum apare acest fenomen. Ceva asemănător se poate observa pe umbrele unor insecte cunoscute la noi sub numele de „ploşniţe de apă" care gonesc pe suprafaţa apei ca nişte patinatori. Ele se menţin la suprafaţă datorită forţelor de tensiune superficială. Fiecare lăbuţă se scufundă în apă, formînd o mică adîncitură. Aceasta reiese din faptul că în locul respectiv apar, sub formă de imagini-umbre, şase mici pete întunecoase, fiecare avînd în jur cîte o aureolă luminoasă. Umbrele frunzelor plutitoare ale nufărului de pe fundul unui iaz limpede seamănă, în mod surprinzător, datorită marginilor crestate, cu umbra unei frunze de palmier. Aceasta se explică prin faptul că frunza este puţin răsucită şi în aceste locuri apa se ridică uşor sub acţiunea forţelor capilare. În „prismele" mici care se formează, razele de lumină sînt refractate şi împrăştiate în fascicule neregulate în direcţia umbrei de pe fund.

29. Refracţia în geamuri care nu sînt perfect plane

Dacă privim prin geamurile vagoanelor vechi, putem observa că anumite părţi ale acestora deformează complet priveliştea. Dacă Soarele luminează printr-un astfel de geam o foaie de hîrtie, porţiunile respective ale geamului formează pe hîrtie benzi luminoase şi întunecoase, îndepărtaţi foaia de hîrtie de geam, veţi observa cum fiecare bandă se transformă într-o linie foarte luminoasă şi fină.

Probabil că suprafaţa geamului nu este perfect plană şi părţile sale mai subţiri sau mai groase acţionează ca nişte lentile aşezate dezordonat, împrăştiind sau concentrînd razele de lumină şi formînd benzi ciudate în focar (vezi § 27).

Chiar şi devieri foarte mici în incidenţa razelor produc o modificare însemnată a strălucirii, astfel că pe geamul de sticlă benzile sînt peste tot vizibile.

Calitatea geamurilor „de oglindă" este mult mai bună. Totuşi, aflîndu-ne în umbră şi la o distanţă apreciabilă de un astfel de geam, putem observa, şi în acest caz, benzile pe sticlă în număr mai mare sau mai mic şi putem determina şi orientarea lor.

Aceste benzi apar deosebit de clare atunci cînd razele Soarelui pătrund prin frunzişul unui copac şi formează imaginea solară (§ 1) care cade apoi pe geam. Într-adevăr, fasciculul incident de raze, îndreptat acum asupra geamului, este mai net conturat şi mai direct, deoarece porţiunea considerată nu mai primeşte lumina de la întregul disc solar, ci numai de la o mică parte a sa. Acum devine vizibilă şi cea mai mică abatere a razelor.

Un cititor care suferă de miopie îmi scria că stînd la cîţiva metri de geam, el vede foarte bine cînd o stea, cînd alta. Aceasta se întîmplă, probabil, datorită curburii întîmplătoare a sticlei care corectează defectele sale de vedere.

30. Reflexii duble pe un geam de oglinda

Priviţi în geam reflexia unui felinar îndepărtat sau a Lunii. Veţi observa două reflexii. Dacă va veţi mişca, imaginile se vor deplasa în mod diferit una faţă de cealaltă pe măsură ce reflexia se produce

pe o porțiune sau pe alta a geamului. Nu de mult, un oarecare „filozof" a susținut că acest fenomen este incompatibil cu principiul cauzalității[1]. Aici ne vine în ajutor fizica.

Plăcuțele de sticlă neagră bine şlefuite, care împodobesc anumite magazine şi instituții, nu dublează reflexiile. De aici rezultă că una din reflexii se datorește suprafeței anterioare a sticlei, iar cealaltă este dată de razele care au trecut prin sticla, s-au reflectat pe suprafața posterioară şi au ajuns la ochiul nostru, după ce au trecut din nou prin sticlă. Dacă sticla este neagră, razele din reflexia a doua sînt absorbite.

Refracția produce o mică deviere în direcția uneia din raze (fig. 38). Poate fi, oare, aceasta cauza imaginii duble? Nu, deoarece în acest caz:

a) imaginile n-ar trebui să se afle cînd mai aproape, cînd mai departe una de alta, în diferitele porțiuni ale aceluiaşi geam;
b) ele n-ar trebui să se afle una față de alta la o distanță mai mare decît grosimea sticlei şi deci, practic n-ar putea fi distinse;
c) deplasarea imaginilor ar trebui să fie nulă pentru unghiuri de incidență foarte mici sau foarte mari (cu un maximum la circa 50°, aşa cum reiese uşor din calcule), în timp ce, în realitate, noi observăm imaginile duble şi în cazul incidenței normale a razei;
d) pentru o sursă de lumină la infinit, de exemplu Luna, distanța dintre imaginile duble ar fi întotdeauna nulă.

Concluzia este următoarea: o placă de sticlă plan-paralelă nu poate da o reflexie dublă. Dacă însă placa de sticlă este în formă de pană, reflexiile duble pot apărea în urma faptului că suprafețele vor fi uşor ondulate.

Însă înainte de a ne declara pe deplin satisfăcuți de această explicație, trebuie să calculăm cît de mare trebuie să fie unghiul dintre suprafața anterioară a sticlei şi cea posterioară pentru a explica fenomenul observat. Este puțin probabil ca într-o sticlă de geam bună abaterea de la paralelism să fie mare.

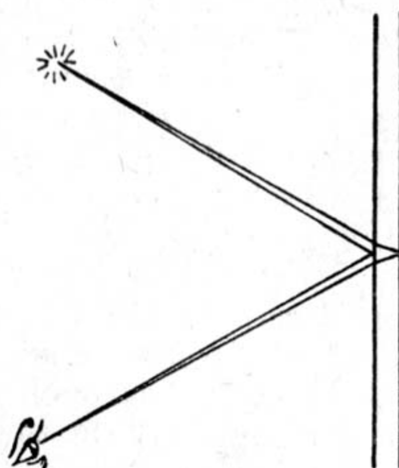


Fig. 38. Geamul unei oglinzi, ale cărui fețe sînt riguros paralele, dă imagini duble care însă sînt foarte apropiate între ele.

Să presupunem, pentru început, că planele sînt paralele şi să urmărim o rază după bifurcarea ei. Vom vedea că cele două raze reflectate sînt din nou paralele, dar puțin deplasate una față de alta.

Să considerăm acum că planul anterior AB este înclinat sub un unghi mic față de planul posterior CD (fig. 39). Raza trebuie să se rotească cu unghiul 2γ. Pentru a urmări raza II, considerăm CD ca o oglindă care reflectă AB sub forma A'B', iar raza II' o considerăm ca reflexia razei II. Vedem, acum, că raza LII' a trecut prin prisma ABB'A' cu un unghi de refracție 2γ mic; optica geometrică ne învață că o astfel de prismă produce o deviere unghiulară a razei 2γ (n — 1), cu condiția ca unghiul de incidență să nu fie prea mare (n = indicele de refracție). Aşadar, unghiul dintre I şi II este:

---

[1] E. Barthel, „Arch. for. System. Philos.", 19, 355, 1913.

$$2\gamma + 2\gamma(n - 1) = 2n\gamma.$$

Pentru sticlă n este 1,52 şi unghiul căutat este aproximativ 3 γ.

Din fig. 40 reiese clar ce se întîmplă atunci cînd observatorul din punctul O priveşte sursa de lumină L, aflîndu-se foarte departe de ea; două raze, I şi II, care pornesc de la această sursă îndepărtată şi care merg practic paralel, ajung la ochiul observatorului sub unghiul 3 γ[1].

Astfel, unghiul dintre cele două suprafeţe ale sticlei este egal cu o treime din distanţa unghiulară între cele două imagini.

Distanţa unghiulară poate fi măsurată, de exemplu, prin determinarea distanţei liniare a între reflexiile pe sticlă; apoi se împarte această mărime la distanţa R dintre ochi şi sticlă şi se înmulţeşte cu cos i.

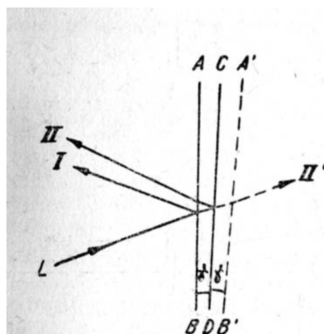


Fig. 39. Apariţia imaginilor duble la reflexia pe o sticlă a cărei grosime nu este uniformă.

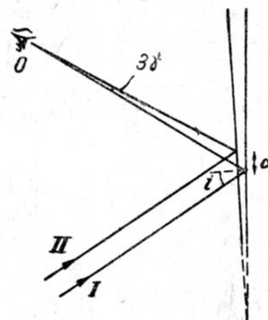


Fig. 40. Cum se determină din distanţa unghiulară 3 γ dintre două imagini gradul de apropiere al suprafeţelor anterioare şi posterioare ale sticlei de geam.

Unghiurile obţinute astfel sînt, în cazul sticlei obişnuite, egale cu cîteva miimi de radian sau cîteva minute de arc. Aşadar, grosimea sticlei de geam variază numai cu 0,1 mm pe o lungime de 5 cm. Această diferenţă este atît de mică, încît ea nu poate fi observată fără a se efectua măsurători foarte fine de grosime. Astfel de măsurători au fost efectuate în mod special şi ele au confirmat evaluarea de mai sus. Nu este oare uimitor că sîntem în stare să detectăm defecte atît de mici ale sticlei fără a depune eforturi deosebite, ci plimbîndu-ne pur şi simplu de-a lungul străzii! Mai mult decît atît, am reuşit acum să demonstrăm justeţea explicaţiei date de noi reflexiilor duble. Dacă nu sîntem în stare să găsim explicaţia vreunui fenomen al naturii, vina o poartă numai imperfecţiunea cunoştinţelor noastre!

O formulă mai generală şi mai precisă: distanţa unghiulară dintre două imagini este 2m γ R/R+R' unde R' este distanţa de la sursa de lumină la sticlă, R — distanţa de la ochi la sticlă; 2m are următoarele valori: unghiul de incidenţă

i = 0°	20°	40°	60°	80°	90°
2w =3,0	3,1	3,6	5,0	13,3	∞

Sticlele de geam obişnuite nu pot fi folosite pentru studiul reflexiilor multiple, deoarece suprafeţele lor neuniforme deformează aceste reflexii. Metoda noastră este prea sensibilă la astfel de defecte!

31. Imagini multiple într-un geam de oglinda în lumina transmisă[2]

Uitaţi-vă într-o seară, lateral, printr-un geam din sticlă bună al unui tramvai, maşină sau tren, la un felinar îndepărtat sau la Lună. Veţi vedea cîteva imagini la distante aproape egale una de altă; prima imagine va fi strălucitoare, iar celelalte din ce în ce mai slabe. Cu cît privirea dumneavoastră cade mai oblic asupra sticlei, cu atît devine mai mare distanta dintre imagini şi cu atît mai puţin diferă ele ca strălucire una de alta.

Este perfect clar că acest fenomen apare ca urmare a reflexiilor secundare de la suprafeţele anterioare şi posterioare ale sticlei. El aminteşte foarte mult de fenomenul de reflexie dublă şi avem

---

[1] Vezi demonstraţia în § 1.

[2] M. M. Roese, „J. Optic. Soc. Amer.", 21, 282, 1931.

toate motivele să presupunem că suprafețele anterioară şi posterioară nu sînt paralele. Există însă şi o demonstrație suplimentară. În cazul unor suprafețe paralele, imaginea cea mai luminoasă este totdeauna aceea mai apropiată de observator şi aceasta independent de faptul dacă privim din punctul O sau O' (fig. 41). Experiența însă ne arată că imaginea cea mai luminoasă se află totdeauna în aceeaşi parte (fie mereu la dreapta, fie mereu la stînga), atîta timp cît observatorul priveşte un anumit punct al sticlei. Însă în aceeaşi sticlă se pot găsi locuri pentru care imaginile cele mai strălucitoare se vor afla la dreapta şi locuri pentru care ele se vor situa la stînga. În primul caz avem de-a face cu o porțiune a sticlei în formă de pană, în care îngroşarea este orientată spre ochiul nostru; în al doilea caz, domeniul de grosime maximă este în partea opusă ochiului.

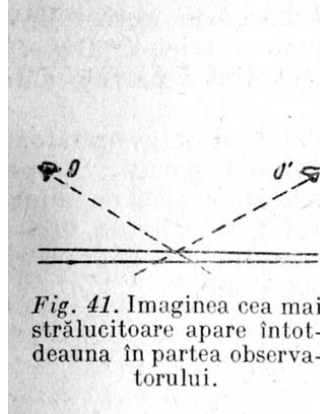


Fig. 41. Imaginea cea mai strălucitoare apare întotdeauna în partea observatorului.

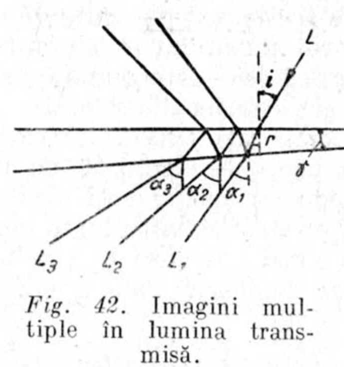


Fig. 42. Imagini multiple în lumina transmisă.

Să calculăm distanța unghiulară între imagini într-un mod oarecum diferit decît în § 30. Din fig. 42 se vede că unghiurile sub care razele L_1, L_2, L_3 ... cad pe suprafața posterioară a sticlei sînt egale cu $r+\gamma$, $r + 3\gamma$, $r + 5\gamma$ ... Aşadar, dacă unghiurile de emergență a acestor raze sînt α_1, α_2, α_3, avem

$\sin \alpha = n \sin (r + \gamma)$ sau, deoarece γ este un unghi mic,

$\sin \alpha_1 = n \sin r + \gamma n \cos r$; tot astfel

$\sin \alpha_2 = n \sin r + 3 \gamma n \cos r$.

Scăzînd prima formulă din a doua, obținem

$\sin \alpha_2 - \sin \alpha_1 = 2 \gamma n \cos r$.

Creşterea unghiului α este mică, de aceea putem considera diferența ($\sin \alpha_2 - \sin \alpha_1$) egală cu diferențiala lui $\sin \alpha$, deci

$\sin \alpha_2 - \sin \alpha_1 = d (\sin \alpha) = \cos \alpha \cdot d \alpha - \cos \alpha (\alpha_2 - \alpha_1)$. De aici
$\alpha_1 - \alpha_2 = 2n \cos r / \cos \alpha * \gamma$

Folosind fig. 42 putem da aceeaşi demonstrație şi pentru reflexiile multiple. Distanțele dintre imaginile succesive sînt aceleaşi, independent de faptul că observatorul le priveşte în lumina reflectată sau în cea transmisă. Coeficientul cu care se înmulțeşte γ este, de fapt, acelaşi pe care în § 30 l-am notat cu 2m; acolo sînt date şi valorile sale.

32. Reflexia coroanei unui copac în sticla geamului

Frunzişul unui copac reflectat într-un geam de grosime neuniformă prezintă nişte dungi specifice. Ştiind că orice punct luminos dă o reflexie dublă într-o oglindă, înțelegem de îndată de ce frunzele s-au dublat în cazul nostru şi de ce toate aceste imagini dublate sînt deplasate în aceeaşi direcție, cel puțin într-o anumită regiune a sticlei. Direcția dungilor este determinată de unghiul dintre planele anterior şi posterior ale sticlei.

Comparați această observație cu experiența următoare care poate fi efectuată cu orice oglindă groasă. Stropiți oglinda cu apă şi veți obține o imagine tipică cu dungi, însă de data aceasta toate benzile vor avea originea în acelaşi punct. Aceasta este reflexia ochiului dumneavoastră. Cauza deplasării este acum grosimea sticlei.

33. Urmele ştergătorului de parbriz

Adeseori se poate observa că stergătorul de geam al unui automobil sau tramvai lasă nişte urme sub formă de cercuri concentrice (vezi fig. 43), în care dimineaţa se refractă razele Soarelui situat aproape de orizont, iar seara lumina felinarelor de pe stradă.

Aceasta nu este altceva decît o dîră de lumină care porneşte de la axa de rotaţie. Ea este totdeauna îndreptată înspre Soare. Dîra luminoasă dreaptă este de fapt un arc de hiperbolă din care însă observăm numai o porţiune mică.

Explicaţia teoretică a acestui fenomen este identică cu aceea pe care am expus-o la explicarea reflexiei luminii în undele circulare concentrice produse de picăturile de ploaie (§ 25). Aici nu are prea mare importanţă modul în care se produce devierea razelor de lumină, dacă ele se refractă sau se reflectă; esenţial este doar că în ambele cazuri razele rămîn în planul de incidenţă.

În afară de aceasta însă, aici se poate observa şi ceva deosebit.

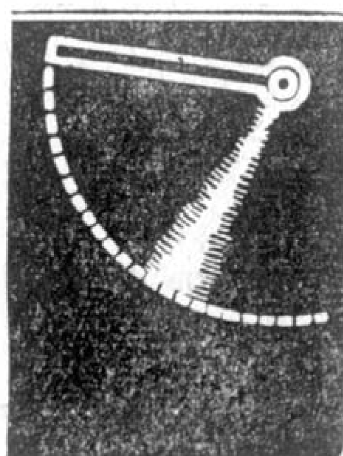


Fig. 43. Reflexia pe urma lăsată de ştergătorul de parbriz.

Dacă închidem alternativ cînd ochiul stîng, cînd cel drept, putem vedea că dîra de lumină îşi schimbă direcţia. Şi aceasta nu este surprinzător, deoarece ochiul nostru drept vede Soarele printr-un alt punct al sticlei decît ochiul stîng, iar dîra de lumină îşi are, după cum ştim, originea totdeauna pe axa de rotaţie. Dacă privim acum cu ambii ochi simultan, vedem cum aceste două imagini diferite se contopesc într-o singură dîră.

Aceasta este un exemplu a ceea ce numim stereoscopie.

34. Picăturile de apă ca lentile

Picăturile de apă formează pe geamurile vagoanelor imagini minuscule, asemănătoare unor lentile puternice. Aceste imagini sînt, desigur, deformate, deoarece picăturile n-au nici pe departe forma unor lentile perfecte.

Este foarte interesant faptul că imaginile sînt răsturnate şi că, în timp ce nouă ni se pare că peisajul se mişcă în direcţia opusă mişcării trenului, noi vedem imaginea sa mişcîndu-se în aceeaşi direcţie ca şi trenul.

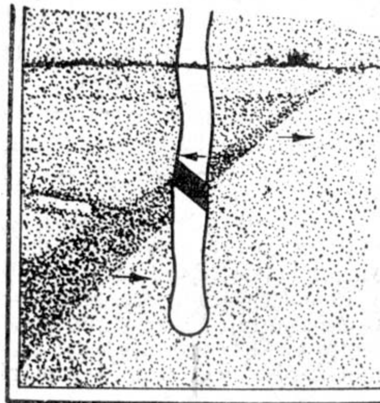


Fig. 44. Picăturile de apă pe geamul unui tren în mişcare refractă lumina ca nişte lentile cilindrice.

Imaginea unui stîlp ni se pare mai groasă în partea superioară decît la bază, deoarece imaginea creată de lentilă este cu atît mai mică, cu cît este mai mică distanţa ei focală, adică cu cît este mai mare curbura ei; partea superioară a picăturii de ploaie este mai plană decît cea inferioară şi, de aceea, dă o imagine mai mare.

35. Culorile curcubeului în picăturile de rouă şi în cristalele de brumă

Cine n-a văzut în dimineţile însorite reflexiile ca de briliant ale picăturilor de rouă? Priviţi-le cît de orbitor strălucesc pe gazonul tăiat scurt şi cum licăresc ca nişte stele pe firele de iarbă legănate de adierea vîntului.

Să privim din apropiere picătura de rouă de pe un fir de iarbă. Să nu-l rupeţi! Să nu-l atingeţi! Picăturile sferice minuscule nu umezesc iarba; ele sînt foarte aproape de fir, însă între picătură şi fir există aproape peste tot un strat de aer. Firul acoperit de rouă pare cenuşiu, din cauză că razele de lumină se reflectă în picături şi din exterior şi din interior; un număr mare de raze nici nu ating firul (vezi § 185). Picăturile plane mari par argintii dacă le privim sub un unghi relativ mare; în acest caz, razele sînt reflectate total de suprafaţa posterioară a picăturii.

Să alegem o picătură mare şi să ne uităm la ea cu un singur ochi; vom observa cum apar culorile îndată ce unghiul cu direcţia de incidenţă a razei devine suficient de mare. La început vedem culoarea albastră, apoi verde şi, în sfîrşit, foarte distinct, culorile: galben, portocaliu şi roşu. Acesta este fenomenul pe care-l observăm adeseori, la scară mare, în orice curcubeu (§ 135).

Astfel de culori scînteietoare pot fi observate şi în cristalele de brumă şi în zăpada proaspăt căzută.

Comparaţi şi § 151 şi 171.

> „Trebuie să-l rugaţi pe profesorul Clifton să vă explice de ce picăturile de apă şterg culoarea de pe o frunză verde sau de pe o floare albastră şi le împrumută o tentă cenuşie delicată; picăturile înseşi arată pe iarbă sau pe frunzele de măcriş ca o ceaţă luminoasă. Totodată, ele scot în relief toate culorile calde astfel încît fără picături de rouă căzute pe flori nu veţi reuşi niciodată să vedeţi adevărata culoare a unei garoafe sau a unui trandafir".
>
> (Ruskin, The Art and Pleasures of England)

IV. Curbarea razelor de lumina în atmosferă

36. Curbarea razelor în regiunea Pămîntului

Corpurile cereşti ne apar ceva mai sus faţă de orizont decît sînt în realitate; cu cît se află mai aproape de orizont, cu atît este mai mare această deplasare. Prin aceasta se explică turtirea Soarelui şi a Lunii în apropierea orizontului. La asfinţit, marginea inferioară a discului solar pare în medie cu 35' mai sus decît este în realitate, iar marginea superioară, care se află mai departe de orizont, se deplasează numai cu 29'. Astfel, turtirea Soarelui atinge 6' sau 1/5 din diametrul solar.

Acest fenomen, care arată clar cum creşte deplasarea razelor luminoase la orizont, este produsă de creşterea densităţii atmosferei în păturile ei inferioare. Cu creşterea densităţii atmosferei creşte indicele de refracţie al aerului şi scade viteza luminii; de aceea, atunci cînd undele luminoase emise de o stea oarecare pătrund în atmosfera noastră, ele se mişcă ceva mai încet în regiunea apropiată de Pămînt şi frontul lor se înclină treptat. Razele de lumină, care indică cum se propagă frontul undei, sînt şi ele curbate şi, de aceea, obiectele îndepărtate apar ridicate (fig. 45).

Cu cît razele sînt mai înclinate, cu atît este mai lung drumul lor în atmosferă şi cu atît mai mare este curbura lor.

Curbarea razelor în regiunea Pămîntului (în astronomie acest fenomen se numeşte refracţie) variază continuu din cauza faptului că distribuţia temperaturii în atmosferă variază şi ea încontinuu. Este interesant de observat în decurs de cîteva zile momentele de răsărit şi apus ale Soarelui şi apoi de comparat rezultatele cu timpurile calculate după tabele şi anuare. În prealabil, ceasul trebuie verificat cu o precizie de o secundă, ceea ce se poate realiza uşor cu ajutorul semnalelor transmise la radio. Se constată diferenţe de 1 sau chiar 2 min. Această experienţă poate fi efectuată uşor de locuitorii de pe litoral, deoarece aici apusul Soarelui poate fi observat pe un orizont deschis şi liber. Experienţa aceasta poate fi îmbinată cu observarea înălţimii corpurilor deasupra orizontului, a formei discului solar şi cu observarea razei verzi.

37. Curbarea anomală a razelor fără reflexie

Stînd pe malul mării, adeseori puteţi observa valuri îndepărtate ridicîndu-se deasupra orizontului, în timp ce, în apropierea ţărmului, valurile de aceeaşi înălţime nu ating linia orizontului, deşi pe un pămînt plan, linia care uneşte crestele valurilor de aceeaşi înălţime ar trebui să fie la acelaşi nivel şi, prin urmare, ar trebui să intersecteze şi ea orizontul. Acest fenomen poate fi observat, de asemenea, şi în largul mării. Aşezaţi-vă pe vreme de furtună pe una din punţile inferioare ale vaporului. Veţi vedea că valurile din apropierea vasului nu ating linia orizontului; comparaţi-le cu valurile îndepărtate. Observaţiile noastre pot fi explicate numai prin curbura suprafeţei Pămîntului, pe care o vedem aici cu ochii noştri (fig. 46).

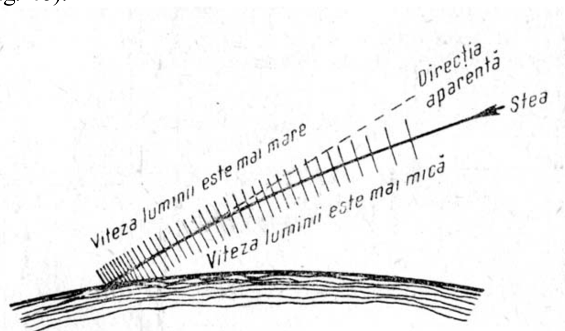


Fig. 45. În urma curbării razelor în regiunea Pămîntului, corpurile cereşti apar mai sus decît sînt în realitate.

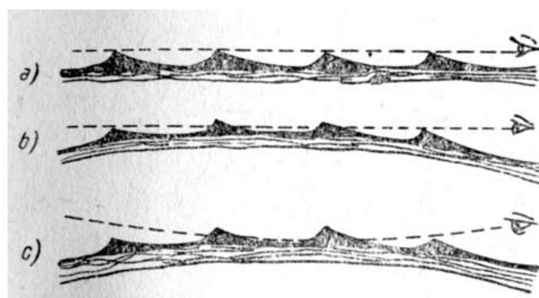
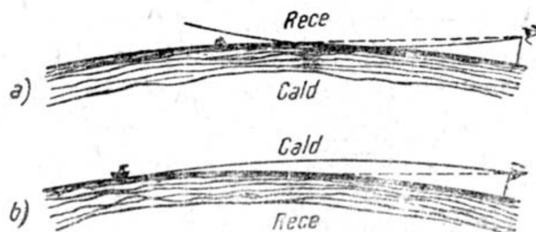


Fig. 46. Valurile vizibile pe linia orizontului: *a)* suprafaţa Pămîntului este plană, razele nu sînt curbate; *b)* suprafaţa Pămîntului este bombată, razele nu sînt curbate; *c) idem*, însă razele de lumină sînt curbate.

a) suprafaţa Pămîntului este plană, razele nu sînt curbate;
b) suprafaţa Pămîntului este bombată, razele nu sînt curbate;
c) idem, însă razele.

Fenomenul descris variază însă în funcţie de curbura razelor în apropierea Pămîntului. Uneori, el apare foarte clar; în acest caz, orizontul pare foarte aproape, vasele de lumină sînt curbate, par mai mari şi mai îndepărtate de ţărm decît de obicei. Se creează impresia că curbura suprafeţei Pămîntului s-a mărit. Alteori, dimpotrivă, marea liniştită face impresia unei uriaşe cupe concave. Obiectele, care, în condiţii obişnuite, se află în afara limitelor cîmpului nostru vizual, devin vizibile, se apropie de noi şi ni se par mai mici. Vasele îndepărtate, care, în condiţii normale, ar fi trebuit să se afle la orizont sau dincolo de orizont, ne apar ca plutind în această vale uriaşă de apă. Fiecare vas este parcă comprimat pe verticală, linia orizontului trece deasupra corpului său, iar ochiul nostru se află, de obicei, sub corpul vasului. Orizontul apare neobişnuit de îndepărtat.

Fig. 47. Dispariţia obiectelor îndepărtate: *a)* suprafaţa apei apare convexă; *b)* obiectele îndepărtate, de obicei invizibile, devin vizibile; suprafaţa apei pare concavă (pe ambele desene curbarea razei luminoase este exagerată).



Aceste două stări caracteristice le numim suprafaţa convexă şi concavă a apei (fig. 47). În primul caz, densitatea atmosferei scade mult prea încet cu înălţimea sau chiar creşte în straturile inferioare. Al doilea caz apare la o descreştere foarte rapidă a densităţii de jos în sus. Astfel de anomalii ale densităţii atmosferei sînt o consecinţă a distribuţiei neobişnuite de temperatură. Dacă marea este mai caldă decît aerul, atunci păturile de aer cele mai joase se încălzesc mai mult decît cele superioare. De aceea, păturile inferioare devin din punct de vedere optic, mai rarefiate şi mai puţin refractante; razele luminoase se curbează dinspre Pămînt în sus. Dacă marea este mai rece decît aerul, razele se curbează în direcţia contrară, încercaţi să măsuraţi, în astfel de zile, temperatura la înălţimi diferite, pentru a va convinge de justeţea explicaţiei noastre.

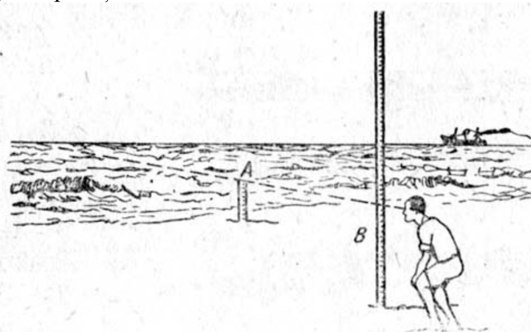


Fig. 48. Cum se măsoară variaţiile curbării razelor în apropierea Pămîntului.

Şi mai caracteristică pentru aceste două stări optice este variaţia înălţimii vizibile a orizontului. Pentru a măsura înălţimea vizibilă a orizontului fără aparate speciale (fig. 48), trebuie să alegem un anumit punct fix A la ţărm şi un punct variabil B pe un ţăruş sau pe tulpina unui copac aşezat la cîteva sute de metri de ţărm. Ne aşezăm lîngă B şi notăm înălţimea la care se află ochiul nostru, atunci cînd linia orizontului trece prin punctul A. Dacă apa este mai rece decît aerul, orizontul

pare mai sus şi punctul B se lasă în jos. Dacă apa este mai caldă decît aerul, orizontul se lasă în jos şi punctul B se ridică. Pot apărea variaţii de 6' sau chiar 9' într-un sens sau în altul. De cele mai multe ori aceste variaţii au loc pe vreme fără vînt. Dacă AB=100 m, variaţiilor de 6' sau 9' le corespund deplasări ale punctului B de 20, respectiv 30 cm. Astfel de măsurători au fost efectuate cu succes la Zandvoort cu ajutorul unei coloane de piatră aşezate pe una din străzile care duc la mare. Distanţa AB era de 90 m; diferenţa în înălţime a ajuns la 5 cm (cu o precizie de ± 0,5 cm). Şi mai bine se fac astfel de măsurători cu un binoclu.

În cazuri extrem de rare curbarea razelor este deosebit de mare şi produce unul din cele mai interesante fenomene optice. Există zile cu o vizibilitate atît de bună, încît un oraş sau un far foarte îndepărtat devine dintr-o dată vizibil, în timp ce, în condiţii obişnuite, el rămîne dincolo de orizont. Adeseori, în astfel de cazuri ne lăsăm amăgiţi, crezînd că aceste obiecte sînt foarte aproape. S-a reuşit o dată să se observe două astfel de fenomene excepţionale în regiunea Canalului Mînecii. Cu ochiul liber se putea vedea întregul ţărm francez chiar în faţa Hastingsului, în timp ce, în condiţii obişnuite, această parte a ţărmului nu poate fi observată nici cu cel mai bun binoclu de campanie. Altă dată s-a putut vedea din Ramsgate întreg castelul Dover apărînd din spatele colinei, care ascunde de obicei o mare parte din el.

Alteori, dimpotrivă, obiectele îndepărtate care se ridică de obicei deasupra orizontului trec sub orizont („se scufundă") şi orizontul pare foarte apropiat. În astfel de zile, obiectele îndepărtate — o barcă, un balot adus de valuri, înseşi valurile — apar neobişnuit de mari. Observaţiile asupra unor fenomene de acest gen trebuie însoţite întotdeauna de măsurători ale temperaturii suprafeţei mării şi aerului.

38. Mirajul în miniatură (fotografia VII)

Mirajul din deşert, cunoscut din cărţi de toată lumea, poate fi văzut cu uşurinţă în miniatură. Să ne alegem un zid lung şi neted sau un parapet de piatră, care să aibă cel puţin 8 m lungime şi să fie aşezat spre sud şi iluminat de Soare. Apropiindu-ne faţa de zid, să ne uităm de-a lungul său. În acest timp, o altă persoană, străduindu-se să se îndepărteze cît mai mult de dumneavoastră, va apropia treptat de zid un obiect lucios oarecare, de exemplu o cheie obişnuită care străluceşte în Soare. Cînd cheia ajunge la cîţiva centimetri de zid, forma sa se schimbă deodată în mod surprinzător şi imaginea sa, reflectată de suprafaţa zidului, începe parcă să se apropie de cheie. Adeseori, se reflectă şi mîna care ţine cheia. Dacă această experienţă vă reuşeşte, veţi putea observa uşor fenomenul şi cu orice alt obiect îndepărtat privind de-a lungul suprafeţei zidului. O astfel de reflexie poate fi obţinută şi cu un zid mai scurt, dacă fixăm ochiul foarte aproape de el; pentru aceasta este nevoie ca observatorul să se poată aşeza la capătul zidului.

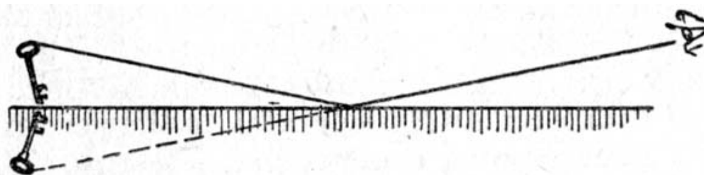


Fig. 49. Miraj pe un perete iluminat de Soare (pentru ilustrare, distanţele pe verticală au fost mult exagerate).

Dacă un zid foarte lung este puternic încălzit, apare uneori şi o a doua imagine, care nu este răsturnată faţă de obiect, ci este dreaptă. Aceasta este în concordanţă cu legea generală după care imaginile succesive într-un miraj trebuie să fie alternativ drepte şi răsturnate (fotografia VII).

Reflexiile apar în urma faptului că aerul lîngă un zid cald este şi el mai cald şi deci mai rarefiat, astfel că indicele său de refracţie se micşorează. Aceasta face ca razele de lumină să se curbeze pînă ce devin paralele cu suprafaţa şi apoi se abat de la ea (fig. 49).

Acest fenomen se numeşte uneori „reflexie totală"; denumirea însă nu este corectă, deoarece trecerea prin diversele straturi este peste tot treptată. Pe de altă parte, trebuie să avem totdeauna în vedere că curbarea razei are loc în imediata vecinătate a obiectului încălzit. Este posibil ca de-a lungul zidului să existe un strat de numai cîţiva centimetri grosime, a cărui temperatură să fie egală cu cea a peretelui. În afara acestui strat, temperatura scade la început rapid, iar apoi mai lent.

Ar fi interesant de măsurat temperatura zidului şi a straturilor de aer apropiate şi, cu ajutorul rezultatelor obţinute, sa se explice cantitativ curbura observată a razelor.

În trecut, astfel de miraje în miniatură au fost observate de-a lungul coşurilor fierbinţi ale vapoarelor. Luna, Jupiter, Soarele răsărind se reflectau pe coş ca pe o oglindă argintie, însă pe catargul

corăbiilor nu s-au observat astfel de fenomene. Probabil că la vapoarele moderne coşurile nu se încing suficient pentru ca să poată apărea mirajul. Dacă privim de-a lungul capotei unui automobil care a stat un timp îndelungat în Soare, imaginile obiectelor îndepărtate se deformează apreciabil; e adevărat că pentru aceasta trebuie să privim foarte aproape de-a lungul suprafeţei încinse a capotei.

Chiar şi atunci cînd priviţi de-a lungul unei scînduri aşezate în Soare, care nu are mai mult de 50 cm lungime, puteţi vedea adeseori obiectele îndepărtate parcă „alungite"' şi „atrase" de scîndură.

39. Mirajele mari deasupra suprafeţelor toarte calde („mirajele inferioare") (fotografia VIII)[1]

Pentru producerea unui miraj sînt necesare: 1) o suprafaţă plană; 2) un spaţiu mare pentru observaţie; 3) o încălzire puternică a suprafeţei Pămîntului, într-o ţară de şes ca Olanda, primele două condiţii sînt realizate, de aceea aici pot fi observate deseori miraje mari; frecvent apar în aer reflexii tot atît de splendide ca cele de deasupra nisipurilor fierbinţi din Sahara. Uneori ele pot fi observate numai dacă ne aplecăm mult spre Pămînt. Mirajele devin mult mai clare şi apar uimitor de dese dacă ne servim de un binoclu de teatru sau de cîmp.

Vom descrie trei cazuri mai favorabile pentru observarea acestor fenomene.

Înainte de toate, veţi observa un miraj pe o zi însorită deasupra şoselelor asfaltate. Termometrul arată că, la o înălţime de 1 cm deasupra suprafeţei şoselei, temperatura aerului scade faţă de temperatura asfaltului cu 20—30°. Mai sus, scăderea temperaturii este de cîteva grade pe centimetru. Observaţiile mele arată că mirajele se văd chiar mai bine deasupra şoselelor moderne, drepte, de beton. Aceste şosele nu absorb razele solare în aceeaşi măsură ca cele de asfalt, însă nici nu cedează atîta căldură. Pe vreme însorită, ni se pare că aceste şosele sînt acoperite de băltoace de apă care devin din ce în ce mai mari şi mai curate pe măsură ce ne aplecăm mai mult. În aceste băltoace, obiectele îndepărtate se reflectă clar şi colorat. Ceea ce luăm drept apă nu e altceva decît cerul reflectat de şosea la o oarecare distanţă de noi. Este interesant că reflexia nu se schimba chiar şi în timpul circulaţiei celei mai intense, cînd vîr-tejurile provocate de roţile vehiculelor ridică pe şosea mici bucăţele de hîrtie, frunze şi praf. Determinaţi cu precizie unghiul sub care vedeţi mirajul şi calculaţi temperatura aerului în imediata apropiere a solului (după formula de la pag. 65).

Fenomenele de miraj mai au loc în mod obişnuit şi în luncile întinse din regiunile de şes. Într-o anumită măsură, mirajul este o trăsătură caracteristică a acestor ţinuturi, cel puţin primăvara şi vara, pe vreme frumoasă, fără vînt puternic. De-a lungul orizontului apare o bandă albă, deasupra căreia parcă plutesc în aer, fără a se sprijini de ceva, turnuri şi vîrfuri de copaci. Aplecîndu-vă, veţi observa că şi în apropiere peisajul este deformat: apar nişte suprafeţe de apă mari şi strălucitoare, care reflectă casele pe fondul cerului senin. Mirajul poate fi văzut cel mai bine dacă ne uităm în direcţia Soarelui.

Uneori, pe la amiază, curbarea razelor este atît de puternică, încît se pare că peste tot în jurul nostru sînt smîrcuri de apa, chiar dacă stăm drept, fără să ne aplecăm; în acelasi timp, dacă va aplecaţi pentru o clipă sau dacă va ridicaţi cu cîţiva metri, veţi fi surprins să vedeţi cum aceste smîrcuri ba se întind, ba se micşorează. Priviţi cum se deformează imaginile, alungindu-se în direcţia verticală, dacă ochiul se ridică cît de puţin deasupra poziţiei celei mai favorabile. Dacă ochiul observatorului se află foarte jos, bazele obiectelor îndepărtate nu se văd, obiectele par să atîrne în spaţiu. Dacă privim în direcţia opusă Soarelui, smîrcurile par mai puţin strălucitoare şi, de aceea, mai greu observabile, însă deformaţia obiectelor îndepărtate şi reflexiile lor apar în acest caz şi mai clare.

Este interesant de măsurat temperatura straturilor inferioare ale aerului, la o înălţime, să zicem, de 100, 50, 25, 10 şi 0 cm de suprafaţă.

Într-o dimineaţă însorită, temperatura maximă se constată totdeauna în imediata apropiere a suprafeţei Pămîntului ; dacă diferenţa de temperatură a straturilor de aer între 100 şi O cm este de 3°, reflexia va fi mică sau chiar inexistentă. Dacă diferenţa atinge 5°, reflexia va fi moderată, iar la o diferenţă de 8° fenomenul va fi uşor vizibil.

Diferenţa cea mai mare de temperatură se observă primăvara, pe z i Io foarte însorite după nopţi reci.

Busch, care a efectuat primul observaţii serioase asupra fenomenului de miraj mare (1779), a observat lîngă Bremen un miraj foarte clar al unui oraş îndepărtat, plutind peste cîmpii întinse.

---

[1] Literatura în această problemă este destul de bogată. De exemplu, Pernter-Exner, Meteorologische Optik, Wien-Leipzig, 1922 ; Biot, „Mem. de la classe des sc. math. et phys. de l'Institut de France", 246,1809; „Trans. Edinb. Soc.", 30, 551,1883 ; Fr. Nolke, „Phys. Zs.", 18, 134, 1917; A. Wegener, „Ann. d. Phys.", **57,** 203,1918; R. Meyer, „Meteor. Zs.", 52,405,1935 ; W. E. Schiele, „Veroff. Geophys. Inst. Leipzig", 7,101, 1935 (cu multe trimiteri).

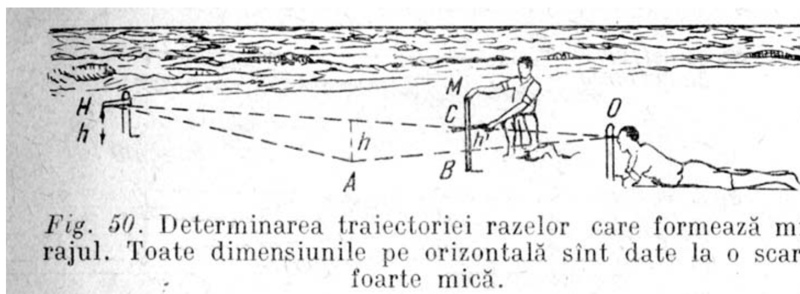


Fig. 50. Determinarea traiectoriei razelor care formează mirajul. Toate dimensiunile pe orizontală sînt date la o scară foarte mică.

Mirajul cel mai frumos se poate observa pe țărmul mării acoperit de nisip neted şi dens, pe vreme călduroasă, fără vînt. Dacă ne culcăm pe Pămînt apropiind ochii de suprafața nisipului, nu vom vedea o imagine clară. Dacă ridicăm puțin capul, ni se va părea că dintr-o dată ne-a înconjurat un lac, pe suprafața căruia se reflectă obiecte de 10—20 cm înălțime, îndepărtate de noi la 30—35 m.

Să privim un obiect oarecare H, net conturat şi luminos, dintr-un punct fix O, situat la aceeaşi înălțime de Pămînt ca şi obiectul H (fig. 50). Un astfel de obiect poate fi, de exemplu, o creangă sau un băț. Să vedem, acum, care este traiectoria razei de lumină datorită căreia vedem imaginea reflectată. La o anumită distanță de observator, în punctul C, ajutorul observatorului ține în poziție verticală o mică riglă M de-a lungul căreia el mişcă o vergea pînă cînd aceasta coincide: a) în punctul B cu însăşi imaginea; b) în punctul C cu vîrful obiectului. Să considerăm raza nerefractată HO, care uneşte H cu ochiul nostru, ca o dreaptă; în acest caz putem determina succesiv înălțimea fiecărui punct al razei refractate HAO şi, astfel, punct cu punct traiectoria razei însăşi. Se constată că în apropierea suprafeței de nisip, raza suferă o deviație bruscă. Dacă lucrurile stau astfel, putem să ne aşteptăm ca raportul h/AO = h'/BO să fie constant şi egal cu unghiul dintre suprafața de nisip şi raza care parcurge drumul mai lung. Această presupunere se dovedeşte a fi justă; mărimea unghiului nu depăşeşte 0,01 radiani ≈0,5°

Din valoarea acestui unghi şi a indicelui de refracție a aerului pentru diferite temperaturi se poate calcula diferența de temperatură în aer, în imediata vecinătate a Pămîntului şi la înălțimea ochiului, după formula:

$$\Delta t \text{ (centrigrade)} = 273/29 * 10^{-5} * ½ * (h/AO)^2$$

În practică această diferență este cuprinsă între 5 şi 35°C.

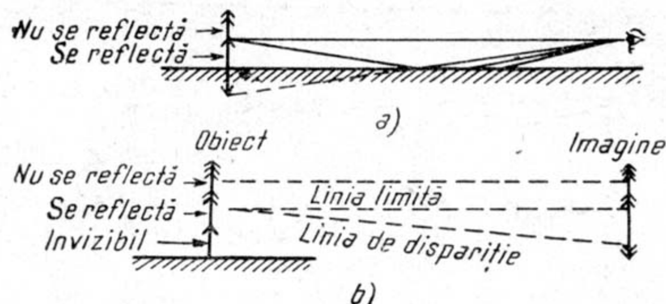


Fig. 51. Mirajul dă reflexia numai a unei părți a obiectului:
a) la distanță mică; *b)* la distanță mare.

În cazul precedent, apariția mirajului se explică foarte simplu, îndată ce îmi îndrept privirea asupra unui punct de pe suprafața Pămîntului dincolo de o anumită limită, raza vizuală pătrunde în straturile încălzite ale aerului sub un unghi suficient de înclinat pentru ca să sufere o deviere bruscă. Efectul este acelaşi ca şi cum în acest punct pe suprafața Pămîntului s-ar aşeza o oglindă.

Aşadar, obiectele îndepărtate par să se împartă în două: o parte superioară şi una inferioară. Partea superioară se vede direct, iar cea inferioară mai dă şi o imagine răsturnată (fig. 51, a).

Curbura suprafeței Pămîntului şi curbarea obişnuită a razelor exercită o mare influență asupra mirajelor îndepărtate. Din cauza curburii suprafeței Pămîntului, baza obiectelor îndepărtate rămîne invizibilă mai jos de o anumită „linie de dispariție", între această„linie de dispariție" şi linia „limită" situată ceva mai sus se află acea parte a obiectului care se vede reflectată, această imagine fiind, de obicei, contractată în direcție verticală. În sfîrşit, deasupra liniei limită vedem obiectele care nu sînt reflectate (fig. 51,6).

Este evident că distribuţia temperaturii aerului nu este caracterizată numai prin creşterea rapidă a temperaturii la suprafaţa Pămîntului, ci şi prin alte particularităţi mai complexe, dintre care fiecare produce un anumit efect optic. Observînd un miraj foarte clar deasupra malului mării, cu ajutorul cercetărilor experimentale descrise mai înainte, se poate calcula poziţia liniei de dispariţie şi a liniei limită şi, prin aceasta, temperatura aerului în diferite straturi.

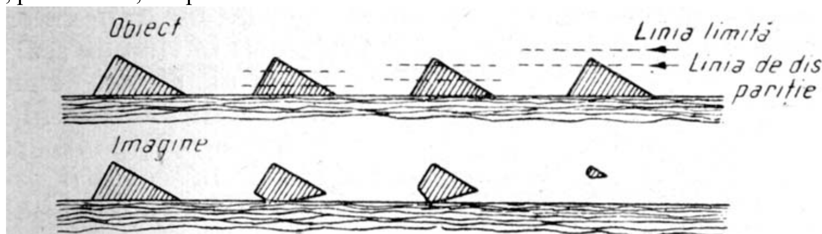


Fig. 52. Cum se schimbă imaginea unei insule privită de la diferite distanţe, din puncte în care se observă mirajul.

Aceste rezultate pot fi comparate cu măsurătorile directe de temperatură. Malul este însă adeseori insuficient de neted, ceea ce complică cercetările.

De pe bordul vapoarelor se observă miraje pe mare (fig. 52), a căror explicaţie poate fi găsită în cele de mai sus. Dacă mirajul nu este prea clar, aşa cum se întîmplă deseori, imaginea (răsturnată) devine atît de turtită, încît seamănă cu o linie orizontală îngustă care se contopeşte cu baza obiectului. Singurul lucru care-l impresionează pe observator este fîşia luminoasă şi strălucitoare a cerului reflectat, dar faptul că ea este comprimată rămîne neobservat. Obiectele îndepărtate par să plutească la o anumită distanţă deasupra orizontului. Un astfel de fenomen optic, care nu este decît un miraj slab, poate fi văzut zilnic pe mare, în special dacă ne servim de un binoclu de campanie. Dacă diferitele regiuni ale unei insule se află la distanţe diferite de noi, porţiunile mai ridicate ale regiunilor mai îndepărtate cad între linia limită şi linia de dispariţie şi, în consecinţă, vedem ceea ce este reprezentat pe fig. 53.

Măsurînd înălţimea liniei de dispariţie deasupra orizontului vizibil, putem exprima uşor în cifre „intensitatea" mirajului. Aceasta se poate face folosind una din metodele descrise în anexă (§ 265). Unghiurile care se obţin sînt de cîteva minute de arc, cu mult mai mici decît în cazul mirajelor pe uscat[1].

Exista un fenomen care poate fi confundat uneori cu mirajul. El este legat de formarea unui strat din picături foarte mici de apă, stropi de spumă, atunci cînd valurile se lovesc de ţărm. Aceste picături plutesc în aer deasupra mării şi acoperă părţile inferioare alo obiectelor îndepărtate cu un strat subţire de ceaţă.

[1] De exemplu, după Pecker — ele sînt de numai 2,5' (Pecker, „L"Astronomie", 65, 381, 1951).

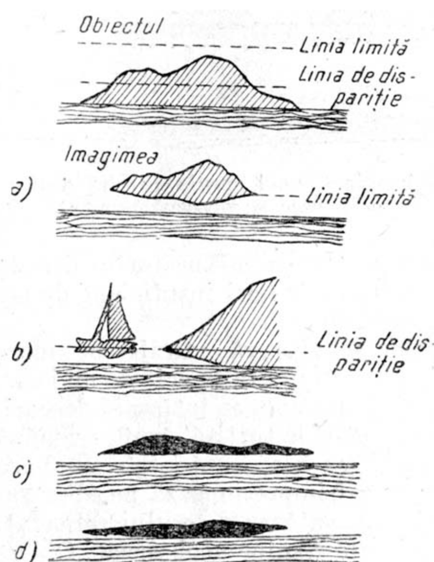


Fig. 53. Observarea unui miraj în timpul unei călătorii pe mare.

Miraje cu deformații ale obiectelor şi ale reflexiilor s-au observat şi în următoarele împrejurări: în timpul scăldatului atunci cînd apa este mai caldă decît aerul; pe lacuri mari, în condiții atmosferice favorabile; deasupra şinelor de cale ferată, cînd privim într-o poziție puțin aplecată o locomotivă îndepărtată; deasupra unui drum nisipos drept sau deasupra unui ogor neted; de-a lungul pantelor dunelor, dacă se priveşte paralel cu pantă; de-a lungul străzilor pavate ale oraşului, în special atunci cînd privirea poate aluneca foarte aproape de punctul cel mai ridicat al urcuşului străzii; deasupra unei suprafețe de gheață, dacă aerul este mult mai rece decît gheața.

40. Mirajele deasupra unei ape reci („mirajele superioare")

Mirajele inferioare apar, în special, deasupra Pămîntului încălzit; mirajele superioare, care sînt mult mai rare, se observă cu prioritate deasupra mării. Ele apar atunci cînd marea este mult mai rece decît aerul, astfel încît temperatura straturilor inferioare de aer creşte rapid cu distanța de la suprafața mării; meteorologii numesc o astfel de distribuție de temperatură „inversiune" (fig. 54).

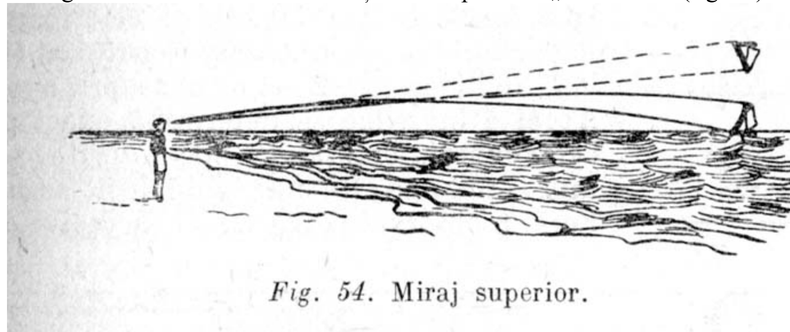


Fig. 54. Miraj superior.

Observațiile clasice ale splendidelor miraje „superioare" au fost efectuate cu ajutorul telescopului în sudul Angliei pe malul Canalului Mînecii. Observațiile s-au făcut uneori seara, după o zi foarte caldă, alteori pe timp de ceață, care se ridica deasupra mării. Mirajele superioare se observă rareori şi în împrejurări cu totul diferite, de exemplu, primăvara deasupra Mării Baltice, cînd începe dezghețul.

La o încălzire bruscă, cînd dezghețul se produce foarte repede, pot apărea miraje deasupra unor suprafețe înghețate; în momentul acela, stratul de aer cel mai apropiat de gheață este mai rece decît straturile superioare. Pentru a observa un astfel de miraj, trebuie să ne aplecăm mult, iar privirea trebuie să lunece aproape de-a lungul suprafeței înghețate.

Uneori, curbarea razelor în sus produce reflexii multiple; în acest caz, raza se propagă nestingherită pe drumul ei (spre deosebire de reflexia inferioară, cînd raza întîlneşte în calea ei pămîntul) şi observăm imagini ciudate, drepte şi răsturnate, care variază din clipă în clipă, în funcție de

distanța observatorului de obiect şi de distribuția temperaturii în atmosferă.

41. Castelele în aer

Observatori foarte competenți au descris cîteva cazuri de miraj admirabile. Erau peisaje cu oraşe, turnuri şi ziduri care se ridicau deasupra orizontului. Prin imaginile lor mereu schimbătoare care apăreau şi dispăreau, ele produceau încîntarea celui care le privea, îl ademeneau atrăgîndu-l spre ele. Acestea reprezintă fata morgana ! Nu este deloc surprinzător că aceste miraje, minunate în sine, sînt şi mai mult înfrumusețate de poezie şi de legendele populare[1].

Forel a observat destul de des deasupra lacului Geneva forme ceva mai simple ale acestui fenomen; el a descris în amănunt rezultatele muncii sale de 50 de ani[2]. Pentru a observa fenomenul, este nevoie de o suprafață de apă liniştită, largă de 15— 30 km şi este foarte important ca ochiul observatorului să fie la o înălțime de 2—4 m deasupra apei.

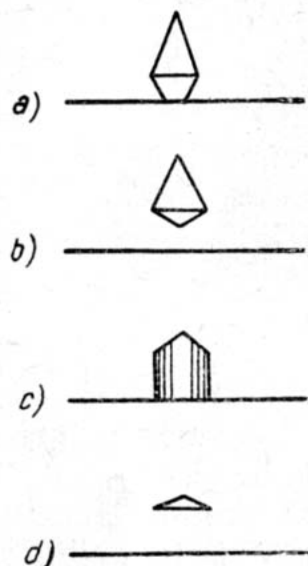


Fig. 55. Apariția fenomenului *fata morgana* la trecerea de la refracția razelor deasupra apei calde la refracția deasupra apei reci.

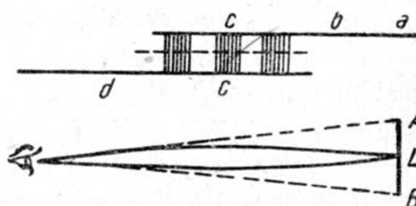


Fig. 56. Apariția fenomenului *fata morgana*. Literele din partea de sus a desenului corespund stadiilor de dezvoltare indicate în fig. 55.

Această înălțime se determină exact pe cale experimentală. În zile însorite, senine, cînd apa este mai caldă decît aerul, Forel a observat patru stadii succesive de dezvoltare ale mirajului care apărea pe malul opus; stadiile se succedau unul după altul şi nu persistau în acelaşi loc mai mult de 10—20 min. Aceste patru stadii erau (fig. 55): a) mirajul deasupra apei calde; b) un miraj neobişnuit deasupra apei reci — un fenomen foarte curios, cînd obiectul apare perfect normal, iar imaginea sa, care se află dedesubt, este puternic comprimată (este posibil ca aceasta să fie o formă de tranziție temporară, nestabilă); c) castelele de aer; linia țărmului îndepărtat este deformată pe o întindere de 10—20° şi alungită pe verticală într-o serie de dreptunghiuri („zona haşurată"); d) curbarea normală a razelor deasupra apei reci; nu se vede nici o reflexie, dar însuşi obiectul este puternic comprimat în direcția verticală.

Orizontul superior în stadiile a şi b şi orizontul inferior în stadiul d sînt limitele în care se dezvoltă „zona haşurată" (fig. 56). Castelele de aer se deplasează în urma faptului că refracția razelor în stadiul a trece treptat în stadiul d. Aici se verifică pe deplin teoria după care densitatea aerului, într-o astfel de regiune de tranziție, este maximă în straturile de altitudine medie. Razele parcurg în acest caz

---

[1] Este interesantă redarea acestui fenomen pe pînza lui Kiundji: „Fata morgana în apropiere de Oresund în fața țărmului suedez". (Muzeul rus, Leningrad).

[2] F. A. Forel, „Proc. Roy. Soc. Edinburg", 32, 175, 1912.

drumul reprezentat pe fig. 56; după cum se vede, fiecare punct luminos L se întinde într-o linie verticală AB.

În ochii ei, cu-ncetul, prea sumbrul peisaj
Îşi pierde dezolarea ş-acum, ca-ntr-un miraj,
În zarea depărtării apare tot mai clar
Noianul cel de apă, întins fără hotar.
Acvaticele plante, tufişu-au încadrat.
Pe dată peisajul în apă scufundat,
Într-una cresc şi-ntr-una spre înălţimi aspiră
Cu miile de vîrfuri ce umbrele-şi răsfiră.
Nu are asemănare acest măreţ spectacol
E Răsăritul, pururi re-mprospătat miracol !
Treptat, în zări, pe lacul albastru, uriaş,
Cu forfotă de ochiuri, apare un oraş
Ce mîndru se înalţă, din orice parte-ncins
De un inel de ziduri puternic, de ne-nvins,
Biserici, case, turnuri, fîntîni răcoritoare,
Surîd, scăldate toate în razele de boare,
Cu pînzele lor albe de vînt domol umflate,
Corăbii de tot felul, sosite, abia din larg
Pătrund în port trudite iar colo, pe catarg,
Se leagă fanioane şi steaguri colorate.
(Fr . Mistral, Mireio, X)

Pe coasta olandeză a Mării Nordului a fost observat acest fenomen atît de rar pentru noi. El a întrunit toate trăsăturile caracteristice amintite de Forel. O descriere mai amănunţită asupra producerii fenomenului o avem chiar de la observator: „La orele 4 şi 20 după-masă am ieşit pe ţărm la Zandvoort. M-a surprins imediat neuniformitatea orizontului, înspre nord-vest şi vest, el era mult mai ridicat decît spre sud-vest, în multe locuri se vedeau două orizonturi suprapuse. Pe o parte, ambele orizonturi se contopeau într-unul singur, la nivelul mai ridicat al orizontului dinspre vest şi nord-vest, iar pe partea cealaltă, ele se contopeau în orizontul mai coborît dinspre sud-vest. Distanţa între ele era peste tot aproximativ aceeaşi, şi anume 7' (la distanţa mîinii întinse aceasta înseamnă 2 mm). Obiectele care se aflau între aceste două niveluri erau supuse unor modificări uimitoare, dînd naştere celor mai bizare imagini"[1] (fig. 57).

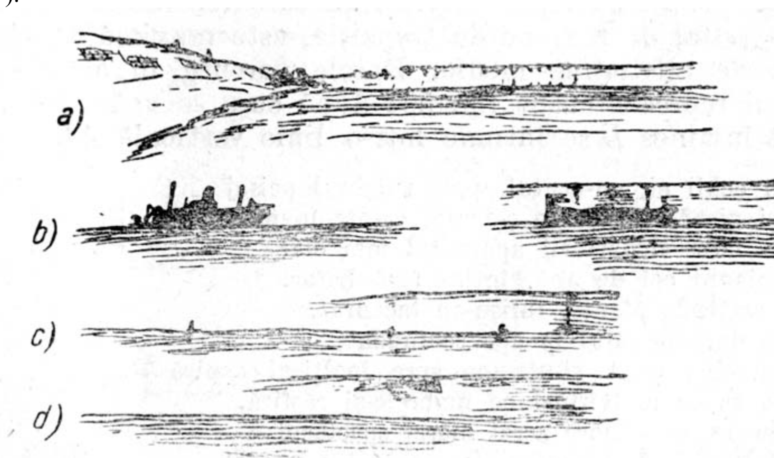


Fig. 57. Castele aeriene, observate la Zandvoort (Olanda)
a) Noordwijk, Katwijk, Scheveningen; în zona haşurată — pădure de palmieri! *b)* la stînga — un vapor pornind în larg, nu există reflexii; la dreapta — regiunea în care se formează *fata morgana; c)* mici bărci cu pînze; *d)* vaporul se află dincolo de orizont şi este invizibil; el devine vizibil sub formă de *fata morgana*. Mirajul răsturnat este suspendat în aer („Hemel en Dampkring", **31**, 252, 1933).

42. Deformarea Soarelui şi a Lunii răsăritului şi apusului (fotografia IX)

---

[1] A. L. Golton, Contr. Lick Obs., l, 1895; A. Ricco, „Mem. Spettr. Ital.", 30, 96, 1901; Prinz, „Mem. Speltr. Ital.", 81, 36, 1902; Arctonski, „Hem. Spettr. Ital.", 81,190, 1902; Wegener, „Beitr. z. Phys. d. freien Atmosph.", 4, 26, 1912; A. Bracke, Deformations du soleil, Mons., 1907; „Publ. Astron. Soc. Pacific", 45, 270, 1933.

Uneori, cînd Soarele se află aproape de orizont, se poate observa o deformare ciudată a contururilor sale. Adesea unghiurile segmentului vizibil sînt rotunjite, ălteori se pare că discul este compus din doua părți unite între ele; cîteodată, sub Soare apare o fîșie de lumină care se ridică pe măsură ce discul solar coboară spre orizont. Se întîmplă ca Soarele să apună nu la orizont, ci la o distanța de cîteva minute de arc deasupra sa. Se pare că astfel de deformări apar mai frecvent seara decît dimineața și explicația acestui fapt trebuie căutată în factorii meteorologici (vezi § 217). În zilele liniștite și senine, straturile de aer de densități diferite se amestecă mai puțin între ele, astfel încît se poate considera că deformările conturului discului solar prevestesc o situație stabilă a atmosferei și, prin urmare, vreme bună. Dacă Soarele ne orbește, se recomandă ca, în timpul observațiilor, să ținem în fata ochilor o foaie de hîrtie argintată sau obișnuită, prevăzută cu un mic orificiu circular sau o sticlă întunecată. Binoclul nu este obligatoriu, deși el ușurează întrucîtva observația. Dacă totuși îl folosim, se poate ține în fața ochiului (dar nu în fața obiectivului) o bucată de sticlă afumată sau o diafragmă cu un orificiu de mărimea capului unui ac de gămălie.

Stadiul cel mai interesant acestui fenomen începe de obicei abia cu 10 min înainte de apus (la răsăritul Soarelui, el se petrece în primele 10 min de la răsărit). Priviți diferitele nuanțe ale discului solar: spre orizont el este roșu-închis, iar în partea superioară devine portocaliu și galben. Observați, de asemenea, cum se lungesc petele de Soare mari care se văd uneori.

Este foarte interesant, deși dificil, de fotografiat acest fenomen; fotografiile Soarelui efectuate cu ajutorul unui aparat obișnuit sînt prea mici. Poze satisfăcătoare pot fi obținute numai cu ajutorul unui telescop, a cărui distanță focală nu este mai mică de 75 cm și la care diametrul obiectivului este cuprins între 3 și 10 cm. Fotografia trebuie făcută cu un timp de expunere foarte scurt, mai puțin de l 5, ceea ce ne dispensează de necesitatea urmăririi Soarelui cu telescopul. Folosiți plăci pancromatice și cercetați literatura în această problemă.

Deformările optice descrise mai înainte se explică prin mirajul obișnuit și trebuie subliniată aici din nou diferența dintre mirajele superioare și inferioare. Ne vom apropia foarte mult de adevăr, dacă vom admite împreună cu Wegener că raza de lumină care pornește de la Soare se curbează brusc, atunci cînd întîlnește o suprafață de discontinuitate.

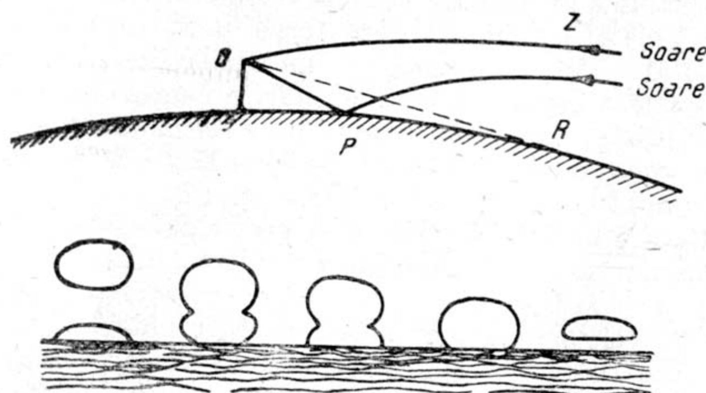


Fig. 58. Explicația deformărilor conturului discului solar, cauzate de miraj în timpul apusului de Soare (cazul 1).

Cazul 1 (fig. 58). Un strat subțire de aer cald PR acoperă Pămîntul. Vedem, astfel, Soarele în direcția OZ și, în același timp, sub el, reflexia sa în direcția OP, orizontul OR aflîndu-se între ele. În timp ce Soarele apune la orizontul vizibil OP, din spatele acestuia se ridică un „antisoare" turtit și ambele discuri se unesc aproape de locul în care apune Soarele real (OR). Apoi discurile se contopesc din ce în ce mai mult, căpătînd o formă care aminteste de un balon etc.

Fig. 59. **Explicația deformărilor conturului discului solar, produse de miraj la apusul Soarelui (cazul 2).**

Cazul 2 (fig. 59). Să presupunem acum că aerul în apropierea Pămîntului este rece, iar deasupra sa se află un strat de aer cald ABC D (inversiunea). Punctul M reprezintă centrul Pămîntului. În jurul său sînt desenate două arcuri de cerc care reprezintă nivelul mării şi limita dintre aerul cald şi cel rece. Să ne închipuim acum că observatorul O îşi îndreaptă privirea din ce în ce mai orizontal. În direcția OA, privirea atinge marginea superioară a Soarelui; în direcția OB, observatorul vede un alt punct, situat mai jos, însă privirea sa este mai înclinată față de suprafața de discontinuitate. În direcția orizontală OC, privirea cade pe această suprafață sub un unghi atît de mare, încît raza vizuală se curbează şi nu părăseşte Pămîntul. Dacă observatorul se află deasupra suprafeței Pămîntului, el poate chiar să privească în jos sub un unghi mic; dacă el priveşte în direcția OD, unghiul de incidență al privirii sale pe suprafața de discontinuitate se micşorează şi devine din nou atît de mic, încît raza vizuală trece dincolo de limitele Pămîntului. De aceea, în interiorul unghiului haşurat, de ambele părți ale direcției orizontale, nici o rază care trece dincolo de limitele Pămîntului nu ajunge la observator; el vede o „bandă curbă", de înălțimea 2 h (fig. 60).

Fig. 60. Deformarea conturului Soarelui atunci cînd există o suprafață de discontinuitate.

Din toate coardele posibile (vezi fig. 59) care trec prin punctul O, coarda orizontală OC intersectează circumferința sub unghiul cel mai mic. Într-adevăr, în triunghiul MOB,

$\sin < OBM/OM = \sin < MOB/MB$ astfel că $\sin < OBM = R/R+H * \sin(90^{o}+h) = R/R+H \cos h$

De aici rezultă că unghiul OBM este maxim pentru h = 0.

Aşadar, „banda oarbă" se întinde în aceeaşi măsură peste orizont ca şi sub el (semnul ± în fața radicalului). Pentru H = 55 m, $\varepsilon = 78*1O^{-7}$; dacă luăm $\delta = 100*10^{-7}$, atunci h=± 0,021 radiani = ± 7', aşa că lărgimea „bandei oarbe" este de 14'. În general, trebuie să se țină seama, de asemenea, şi de curbarea terestră obişnuită a razelor, însă în cazul de față ne interesează, în special, caracteristicile fundamentale ale fenomenului considerat.

În acest fel, ținînd seama de structura atmosferei, am putut explica că Soarele apune înainte de a atinge de fapt orizontul, îndată ce ajunge în „banda oarbă". Dacă observatorul se află pe vîrful unei coline sau pe puntea unei corăbii, el poate vedea, probabil, marginea inferioară a Soarelui apărînd sub „banda oarbă". Imaginile vor fi, desigur, deformate în direcția verticală: deasupra „bandei oarbe" ele sînt contractate pe verticală, sub ea, ele sînt alungite. Uneori, marginea Soarelui prezintă cîteva mici crestături care indică, probabil, existența mai multor suprafețe de discontinuitate în atmosferă (fig. 61). Cîteodată una din aceste adîncituri este atît de profundă de ambele părți, încît se pare că din Soare a fost tăiată o fişie întreagă.

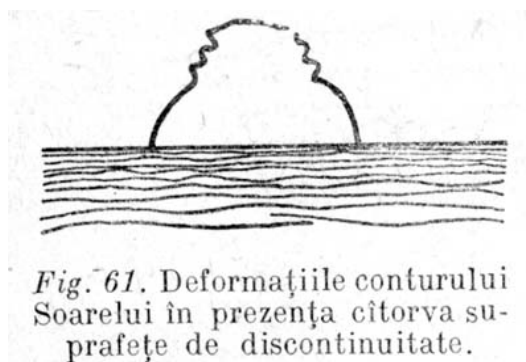


Fig. 61. Deformaţiile conturului Soarelui în prezenţa cîtorva suprafeţe de discontinuitate.

Pentru un moment, această fîşie rămîne parcă atîrnată în aer, apoi se contractă şi dispare; în acest caz se poate observa adeseori un fenomen interesant, aşa-numita rază verde. Uneori se pare că şi o a doua fîşie este tăiată din Soare etc. (fig. 61).

Noaptea putem observa deformarea Lunii. Deformări deosebit de mari apar atunci cînd Luna are forma unei seceri subţiri.

43. Imaginile multiple ale Soarelui şi Lunii



Fig. 62. Seceri lunare multiple.

În ediţiile precedente ale acestei cărţi[1] am amintit de două observaţii ale unor imagini multiple ale secerii lunare. Aceste imagini, aşezate una lîngă alta şi una peste alta, erau deosebit de nete şi nu prezentau deformaţii (fig. 62). Distanţa dintre imagini era atît de mare, încît nu mai putea fi vorba de o reflexie în aer şi mă gîndeam chiar la o formare anormală a imaginii în ochiul observatorului, însă m-am înşelat ! Natura este întotdeauna mai bogată în posibilităţi decît ne închipuim. Recent, un observator a văzut lîngă Soare şi deasupra sa şapte imagini ale Soarelui, nedeformate şi nete. De data aceasta fenomenul a fost fotografiat obţinîndu-se o imagine clară şi convingătoare[2]. Soarele era la 10° deasupra orizontului; fenomenul a fost vizibil numai timp de 3 min. Cei şapte sori auxiliari erau albaştri. Soarele real era portocaliu. S-a căutat să se explice fenomenul prin curbarea anomală a razelor de lumină. Mie această explicaţie nu mi se pare justă; este inexplicabil de ce imaginile rămîneau nedeformate.

[1] Este vorba de ediţiile apărute în limba olandeză. — N.T.

[2] Richard, „Meteorologie", 4, 301, 1953.

44. Raza verde[1]

> „Aţi văzut vreodată Soarele apunînd la orizont? — Desigur că da!—Aţi urmărit cum atinge el linia orizontului şi dispare apoi complet dincolo de orizont?— Probabil că da! — Dar aţi observat, oare, cum apare şi se stinge ultima rază solară atunci cînd dispare ceaţa şi atmosfera devine transparentă?— Probabil că nu! — Cînd veţi avea ocazia să vedeţi acest fenomen, ceea ce se întîmplă de altfel foarte rar, veţi observa că această ultimă rază nu este roşie, ci verde. Da, da, ea are o culoare verde minunată, un astfel de verde pe care nu-l poate reda nici un pictor pe paleta sa, care nu poate fi întîlnită nicăieri în natură; ea nu poate fi găsită în lumea plantelor, cu toată mulţimea şi varietatea ei de culori şi nuanţe, ea nu poate fi găsită nici în mările cele mai strălucitoare".
>
> (Jules Verne, Raza verde)

După o veche legendă scoţiană, aceia care au văzut măcar o singură dată raza verde nu vor greşi niciodată cînd îşi vor alege iubita. Pe insula Man raza verde este denumită „lumina vie".

Raza verde poate fi văzută mult mai frecvent decît s-a crezut înainte. O dată, în timpul unei călătorii pe mare din Djawa în Olanda, am reuşit să observ raza verde de peste zece ori. Fenomenul poate fi observat cel mai bine pe mare, de pe bordul unui vas sau de pe ţărm. E adevărat că raza verde poate fi văzută şi pe pămînt, dacă orizontul este suficient de îndepărtat. Uneori, raza verde poate fi zărită atunci cînd Soarele se ascunde după munţi sau după un nor cu contururi nete. Ea poate fi văzută şi deasupra munţilor şi norilor obişnuiţi, cu condiţia ca înălţimea lor să nu depăşească 3° deasupra orizontului. În cîteva cazuri, raza verde a putut fi zărită şi la o distanţă uimitor de mică. Ricco povesteşte că o dată stătea la marginea umbrei unei stînci, care se afla destul de aproape de el; mişcînd uşor capul ba spre dreapta, ba spre stînga, el a putut vedea de nenumărate ori raza verde[2]. Whitnell a observat raza verde deasupra unui zid la 300 m, Nijland şi Barber la 400 m, însă toate cazurile menţionate sînt foarte rare[3].

Toţi cei care au reuşit să vadă raza verde consideră că ea apare cel mai des în serile cînd Soarele luminează strălucitor pînă în momentul apusului; dacă în timpul apusului Soarele este foarte roşu, raza verde nu se observă aproape niciodată.

De obicei, la observarea razei verzi este foarte util un binoclu de teatru sau de cîmp şi, într-o măsură şi mai mare, un telescop. Trebuie însă să ţinem seama de pericolul vătămării grave a ochilor. Binoclul poate fi folosit numai cu cîteva secunde înainte de apusul Soarelui. Nici cu ochiul liber nu trebuie să ne uităm prea devreme la ultimul segment al discului solar; întoarceţi-vă pînă cînd cineva va va semnala că a sosit momentul potrivit pentru observaţii. Sau şi mai simplu: mişcaţi-vă privirea încontinuu şi cu repeziciune; în acest caz, senzaţia de lumină nu este de durată şi nu apare imaginea consecutivă.

Fenomenul razei verzi durează doar cîteva secunde. O dată, la Zandvoort, am reuşit să observ raza verde timp de 20 s— în timp ce Soarele apunea, eu urcam în fugă un dig de 6 m. În funcţie de viteza paşilor mei, raza îşi schimba culoarea, devenind cînd mai albastră, cînd mai albă. Prelungirea fenomenului este posibilă şi pe o corabie, dacă urcăm tot mai sus de pe o punte pe alta. Datorită mişcării vasului pe care se găsea, Nijland a reuşit să observe raza verde de cîteva ori la rînd în aceeaşi seară, într-un caz cînd s-a observat o curbură neobişnuit de mare a razelor, raza verde a fost vizibilă timp de 10 s sau chiar mai mult. Portughezul Gago Continho a putut vedea un timp nelimitat raza verde creată de lumina unui far îndepărtat. În timpul expediţiei lui Byrd la Polul Sud, raza verde a fost vizibilă timp de 35 min, cînd Soarele a răsărit pentru prima dată la sfîrşitul nopţii polare şi se mişca de-a lungul orizontului.



Fig. 63. Segmentul verde.

[1] Fischer, „Pop. Astr.", 29, 1931; Mulder, The „green ray" or „green flash" (The Hague), 1922; Antonov, „Izv. Vsesoiuzn. Geogr. ob.va", 86,102, 1954. În lucrările enumerate mai înainte este citată şi analizată vasta literatură în această problemă.

[2] „Mem. Spettr. Ital.", 31, 36, 1902.

[3] „Nature", 156,146, 1954; „Hemel en Dampkring", 33,219,1935.

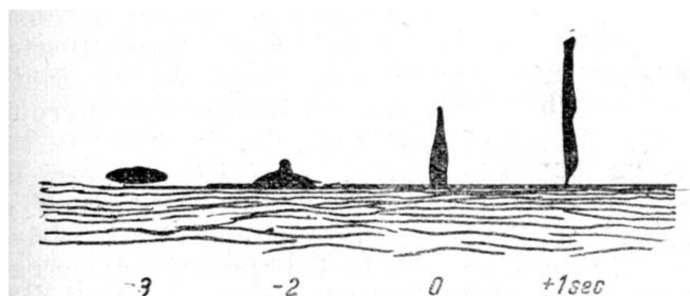


Fig. 64. Raza verde. Timpul se calculează din momentul apusului Soarelui.

Fenomenul razei verzi are trei forme: a) marginea verde, care de obicei poate fi distinsă în partea superioară a discului solar şi care devine din ce în ce mai largă pe măsură ce Soarele se apropie de orizont; în acelaşi timp marginea inferioară a Soarelui devine roşie; b) segmentul verde (fig. 63). Segmentul Soarelui care apune devine verde la margini. Treptat, lumina verde se deplasează spre centrul segmentului. Segmentul verde poate fi văzut cu ochiul liber circa o secundă, iar uneori, cu ajutorul unui binoclu de cîmp, timp de 4—5 s; c) raza verde (fig. 64). Acest fenomen, care poate fi observat şi el cu ochiul liber, are loc foarte rar. Ca aspect, raza verde seamănă cu o flacără care apare la orizont în clipa în care Soarele apune.

Un observator atent a descris apariţia şi dispariţia, deasupra marginii Soarelui care apunea, a unui „moţ" colorat în verde, care alterna cu o fulgerare de un verde deschis[1]. Se observă forme foarte variate ale fenomenului.

În toate trei cazurile, culoarea razei este de obicei cea a smaraldului, mai rar ea bate spre galben şi uneori spre albastru sau chiar violet. Odată s-a observat cum culoarea s-a schimbat din verde în albastru şi apoi în violet, întreg fenomenul durînd cîteva secunde.

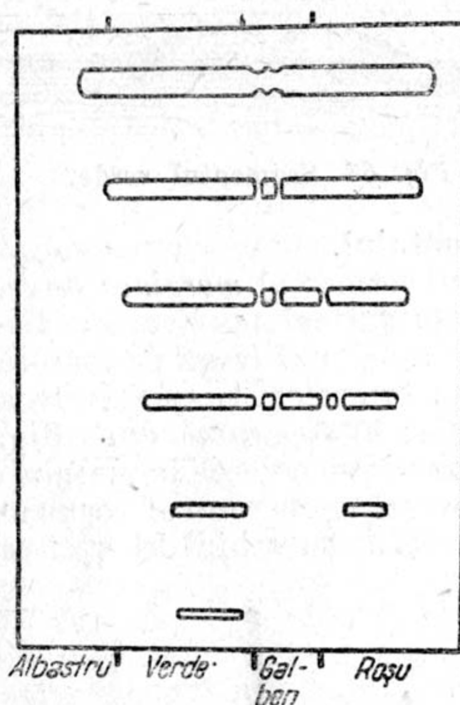


Fig. 65. Spectrul Soarelui care apune, după observaţiile lui Dijkwel („Hemel en Dampkring", **34,** 261, 1936).

Astăzi nu mai există îndoieli în ceea ce priveşte justeţea explicaţiei razei verzi. Soarele se află

---

[1] Şaronov V. V., „Astron. Ţirk," nr. 108, 9, 1950.

aproape de orizont, astfel că razele sale albe trebuie să parcurgă un drum lung prin atmosferă. O mare parte din lumina galbenă şi portocalie este absorbită de vaporii de apă şi moleculele de 0_3 (bandele lor de absorbţie se află tocmai în acest domeniu spectral). Lumina violetă este mult slăbită în urma difuziei (vezi § 189). Rămîn numai razele verzi-albastre şi roşii, ceea ce se confirmă cu ajutorul spectroscopului[1].

Atmosfera este mai densă în straturile inferioare decît în cele superioare, astfel că razele de lumină sînt curbate în drumul lor prin aer (vezi § 36); la razele roşii, curbarea este ceva mai mică, la cele verzi şi albastre ceva mai mare, deoarece ele sînt mai puternic refractate. Toate acestea fac ca noi să vedem două discuri solare care se suprapun parţial, iar discul verde-albastru este ceva mai sus decît cel roşu. Iată de ce sub discul solar apare o margine roşie, iar deasupra lui una verde (fig. 66). Acum se înţelege de ce la margine segmentul discului solar este verde atunci cînd înălţimea Soarelui deasupra orizontului este mică şi de ce partea roşie dispare treptat dincolo de orizont în timp ce raza verde acoperă restul segmentului. În multe cazuri însă refracţia lîngă orizont este atît de puternică, încît segmentul verde poate fi observat destul de bine timp mai îndelungat. Dacă în acest moment apar miraje, fenomenul se dezvoltă sub forma unui fel de flăcări sau ca o rază izolată.

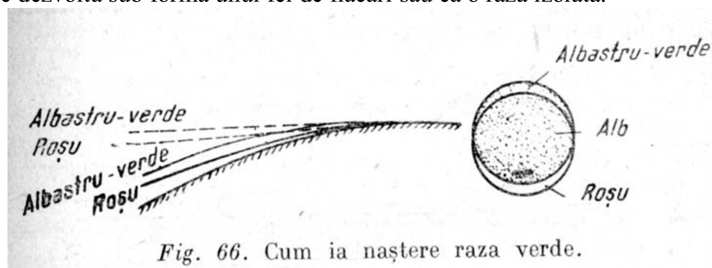


Fig. 66. Cum ia naştere raza verde.

Acest punct de vedere ar fi confirmat dacă raza verde şi segmentul verde ar fi complet invizibile atunci cînd marea este mai caldă decît aerul şi micşorarea densităţii şi curbarea razelor nu sînt importante. Există motive de a crede că lucrurile stau într-adevăr astfel[2].

Se constată că segmentul verde este deosebit de clar vizibil atunci cînd în păturile inferioare ale aerului sînt întrunite toate semnele mirajului: marginea inferioară a segmentului nu este dreaptă, unghiurile sale sînt puţin ridicate în sus (fig. 67)[3].

Atunci cînd pe discul Soarelui apar crestături în părţi, se întîmplă uneori ca la marginea superioară a discului sa se rupă o fişie care dispare apoi într-o pată verde strălucitoare. Aceasta este o privelişte deosebit de frumoasă[4] (fig. 68, vezi şi fig. 61).


Fig. 67. Marginile segmentului final al Soarelui care apune sînt rotunjite în sus. Există speranţa că va apărea raza verde!

Vom cita acum un alt fapt care subliniază rolul însemnat pe care-l joacă în apariţia razei verzi refracţia anomală. De două ori raza verde a putut fi văzută numai de pe o singură punte a unui vas, nu şi de pe celelalte. Aceasta ilustrează rolul important pe care-l joaca înălţimea de la care se efectuează observaţiile[5].

---

[1] La o difuzie puternică dispare şi culoarea verde-albastră; iată de ce raza verde nu este vizibilă dacă Soarele care apune este roşu întunecat. Spectrul a fost fotografiat şi prelucrat de Jacobsen („J. Roy. Astron. Soc. Canada", 46, 93, 1952).

[2] R. W. Wood, „Natură", 121, 501, 1928.

[3] „Nature", III, 13, 1929.

[4] Vezi V. M. Cernov, „Astron. Ţirk.", nr. 120, 8, 1951.

[5] „Meteor. Zs.", 49, 1932; S. W. Visseren F. Th. Verstelle, „Hemel en Dampkring", 32, 81, 1934. Este preferabil ca aceste observaţii să fie efectuate de o aceeaşi persoană, trecînd de la o punte la alta.

Măsurătorile spectrale au arătat, de altfel, că în spectrul razei verzi lumina verde este mult mai intensă decît în spectrul Soarelui, obținut în momentul precedent. Aceasta se poate explica numai printr-o curbare anomală a razelor. Există însă observatori competenți care afirma în mod stăruitor că este suficientă refracția terestră obişnuita a razelor pentru ca să apară raza verde[1].

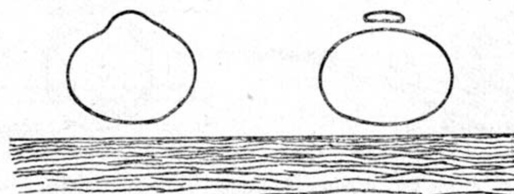


Fig. 68. Cum apare raza verde la separarea părţii superioare a Soarelui care apune.

Aşadar, problema principală care trebuie rezolvată în legătură cu raza verde este următoarea: cum trebuie să fie refracția pentru ca fenomenul să aibă o anumită intensitate dată. Pentru aceasta este suficient ca timp de cîteva zile sa se determine timpul exact al apusului Soarelui, urmărind totodată apariția razei verzi. Diferența dintre momentele observate şi cele calculate este o dovadă a devierii curbării razei de la cea normală (vezi § 36).

În trecut, raza verde a fost considerată ca o postimagine fiziologică în culoarea complementară a Soarelui roşu, în curs de dispariție (§ 101). Această ipoteză este infirmată de faptul că raza verde apare deseori şi la răsăritul Soarelui, deşi în acest caz de obicei este greu de a prevedea în ce punct trebuie aşteptată apariția luminii. La răsărit de Soare, punctul în care ne putem aştepta la apariția Soarelui este punctul cel mai luminos al orizontului; se poate folosi, de asemenea, şi nimbul deasupra norilor sau figura lui Haidinger (§§ 197, 188). O altă dovadă în sprijinul raționamentelor noastre este următoarea: raza verde este vizibilă numai cu condiția ca distanța pînă la orizont să fie suficient de mare. Deşi nu influențează postimaginea, aceasta este, desigur, foarte important în ceea ce priveşte curbarea razelor.

Raza verde a putut fi fotografiată, deşi cu dificultăți mari, pe plăci autocrom[2].

Foarte rar s-a reuşit să se observe raza verde a Lunii sau a lui Venus; odată s-a observat raza verde a lui Jupiter. Savruhin a văzut raza verde a lui Venus aproape în fiecare zi în decursul unei anumite perioade, atunci cînd planeta apunea în spatele unui lanț de munți, la 50 km de observator şi la 4° deasupra orizontului[3]. Observațiile lui van den Bosch se referă la o înălțime deasupra orizontului de 7°. Este descris un caz, cînd în timpul apunerii lui Venus deasupra mării, imaginea sa se înălța chiar în direcția planetei; în momentul în care planeta şi imaginea ei au coincis, culoarea s-a schimbat brusc şi din roşiatică a devenit verde.

45. Valul verde

Pe țărmul Sumatrei s-a observat că, spre orizontul îndepărtat, crestele înspumate ale valurilor apăreau verzi şi aceasta numai la valurile mai joase; crestele valurilor mai ridicate erau albe ca de obicei, însăşi marea era cenuşie şi linia orizontului părea puternic curbată.

După toate probabilitățile, acest fenomen este identic cu fenomenul razei verzi; crestele strălucitoare ale valurilor mai joase corespund chiar marginii Soarelui care apune.

46. Raza roşie[4]

Din explicația originii razei verzi se poate deduce că există şi o rază roşie care poate fi văzută, de exemplu, atunci cînd Soarele se ascunde după un nor dens, cu marginile bine conturate, lîngă orizont, iar marginea de jos a discului solar apare sub nor. Acest fenomen a putut fi observat, deşi foarte rar. Raza roşie este de şi mai scurtă durată decît cea verde. Whitnell, care a văzut raza verde într-un orificiu

---

1 „Proc. Roy. Soc.", 126, 311, 1930

2 O serie de fotografii foarte frumoase au fost efectuate în ultimii ani la observatorul din Castel Gandolfo.

3 „Astron. Ţirk.", nr. 120, 8, 1951.

4 „Nature", 94, 61, 1914. O descriere minunată a unei observații cu binoclul a razei roşii în timpul dispariției petelor solare mari, în vest, la apusul Soarelui, este dată de W. M. Lindley, „J. Brit. Astr. Ass.", 47, 298, 1937.

al unui zid aflat la 300 m de el, a putut observa în aceleaşi condiţii şi raza roşie.

47. Pîlpîirea surselor de lumină terestre[1]

Fenomenul de licărire sau pîlpîire poate fi foarte bine observat la sobele de fier sau cuptoarele în care se fierbe, de obicei, la noi asfaltul pentru străzi. Toate obiectele din depărtare încep sa tremure şi par sa se reverse în aer, uneori atît de intens, încît nu mai pot fi recunoscute, iar aerul încetează chiar de a mai fi transparent. Dacă privim spre obiecte îndepărtate deasupra cazanului unei locomotive, ele încep sa vibreze. Acelaşi lucru se întîmplă şi deasupra unui acoperiş de tablă înfierbîntat de Soare. Fenomenul poate fi observat şi pe un cîmp secerat sau deasupra unei întinderi de nisip puternic încălzite de Soare.

Fenomenul de pîlpîire poate fi observat cel mai bine pe obiecte strălucitoare, cum sînt: trunchiurile de mesteacăn, coloanele albe, suprafeţele de nisip alb, globurile de grădină sau geamurile de la ferestre îndepărtate, iluminate de Soare. Vara sau în zilele însorite de primăvară pîlpîie şinele căilor ferate; ele nu mai par drepte, ci se unduiesc şi se împletesc în depărtare. Dacă aplecăm capul spre pămînt, pîlpîirea se accentuează; se pot vedea „şuviţe" de aer ridicate de vînt. Astfel de „valuri" se înaltă chiar mai sus decît valurile pe mare. Dacă privim prin binoclu, atîta timp cît Soarele străluceşte, nu putem vedea bine obiectele îndepărtate (în special dacă privim în direcţia opusă Soarelui). Iarna un ochi experimentat poate observa uşor, din tremurul şi vibraţia obiectelor îndepărtate, cum se ridică aerul cald deasupra acoperişurilor caselor (Oudemans).

„Astfel, aerul prin care privim stelele este în continuă vibraţie, aşa cum se vede din mişcarea de vibraţie a umbrelor turnurilor înalte şi din licărirea stelelor fixe" (Newton, Optică). Care dintre cititorii mei a observat aceasta?

Toate aceste fenomene se explică prin curbarea razelor luminoase în curenţii de aer cald, care se ridică deasupra pămîntului încălzit ca nişte mici fîntîni arteziene. Deja la o înălţime de 2 m aerul cald se amestecă într-o măsură apreciabilă cu aerul rece şi „şuviţele" devin mai mici.

Adeseori se pot vedea pe un perete alb şi neted, luminat de Soare, şuviţe de aur ridicîndu-se deasupra pervazurilor şi aruncînd umbre uşoare, asemănătoare unor văluri de ceaţă fine. Paralelismul razelor luminoase este perturbat de aceşti curenţi de aer; în unele locuri, curenţii se contureaza mai clar, în altele mai puţin clar. Această imagine ne aminteşte de trecerea razelor printr-o apă unduită sau printr-un geam neuniform (§ 28—30), însă aici deformările sînt mai mici.

Desigur, pîlpîirea va fi cu atît mai intensă, cu cît este mai gros stratul de aer încălzit neuniform, prin care privim. Focurile care se află la cîţiva kilometri depărtare, încep parcă să sclipească; pe măsură ce ne apropiem de ele, pîlpîirea slăbeşte şi, la urma urmei, dispare complet. Un automobil care stă pe şosea reflectă lumina solară ca un briliant sclipitor; la distanţa de 500 m, el pare că pîlpîie; la 200 m, lumina reflectată de automobil devine mai constantă, pîlpîirea slăbeşte şi, pe măsură ce ne apropiem, dispare complet.

Observaţiile au arătat că pîlpîirea este determinată în mare măsură de porţiunile apropiate de ochi ale traiectoriei razei luminoase. Se întîmplă ca şi cu sticlele de ochelari care au o acţiune mai puternică atunci cînd sînt aproape de ochi; dacă puneţi ochelarii pe pagina unei cărţi, veţi vedea că lentilele nu modifică dimensiunile literelor; apropiind însă ochelarii de ochi, veţi observa că mărimea literelor se schimbă, creşte sau se micşorează, iar modificările sînt cu atît mai mici cu cît ochelarii sînt mai aproape de ochi. Pîlpîirea apare într-o măsură însemnată şi datorită variaţiilor de temperatură alo aerului în apropierea observatorului. Aceasta este confirmată de următorul fapt: dacă razele Soarelui întîlnesc în drum un nor, care este astfel aşezat că obturează lumina Soarelui în imediata apropiere a observatorului, pîlpîirea încetează aproape instantaneu şi, invers, ea apare din nou îndată ce norul trece. Este greu de presupus că temperatura suprafeţei Pămîntului reacţionează atît de rapid la orice variaţie de luminozitate, dar din partea frunzelor uscate, a firelor de iarbă şi a particulelor de praf ne putem aştepta la acest lucru. Oare pîlpîirea deasupra prundişului de pe terasamentul căilor ferate slăbeşte cu aceeaşi repeziciune cu care alunecă deasupra lor umbrele norilor? Observînd pîlpîirea în mod sistematic, dintr-un acelaşi loc, se poate urmări cum variază ea cu vremea. De obicei, pîlpîirea este mult mai puţin accentuată cînd cerul este înnorat (o înnorare totală înseamnă că întregul drum al razei luminoase este umbrit mai mult sau mai puţin). Pîlpîirea este destul de slabă înaintea răsăritului Soarelui; curînd după răsărit ea se intensifică, atingînd un maxim pe la amiază şi scăzînd către orele 4—5 d.a. Trebuie menţionat totuşi că uneori acest proces evoluează în alt fel.

Pîlpîirea poate fi observată nu numai deasupra nisipului, solului sau deasupra caselor, dar şi deasupra unor suprafeţe de apă, zăpadă sau deasupra frunzişului unei păduri. Toate acestea demonstrează că temperatura tuturor acestor obiecte, care depinde de radiaţia solară, poate să difere, la

---

[1] „Meteor. Zs.", 9, 138, 1892.

urma urmei, de temperatura aerului. La intrarea în port sau călătorind de-a lungul țărmului Canalului Mînecii sau a strîmtorii Messina, este foarte interesant de observat de pe bordul vasului cum licăreau şirurile de felinare pe bulevardele îndepărtate ale cheiurilor.

Uneori culoarea unei surse terestre de lumină care pîlpîie se schimbă, însă aceasta este posibil numai în cazul cînd sursa de lumină este departe de noi. Într-un singur caz s-a observat schimbarea culorii unui felinar, care se afla la mai puțin de 5 km de observator.

48. Licărirea stelelor[1]

Observați cum licăreşte Sirius sau o altă stea strălucitoare atunci cînd se află aproape de orizont. Dacă îndreptăm telescopul asupra unei astfel de stele, putem observa o uşoară vibrație a ei. Dacă privim cu ochiul liber se vede cum variază luminozitatea stelei, precum şi culoarea ei.

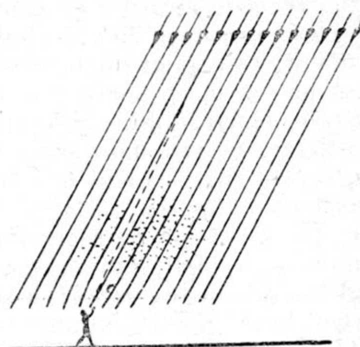


Fig. 69. Din cauza neomogenității atmosferei, razele de lumină ale stelelor sînt curbate; apare licărirea. În acest caz, observatorul vede stelele deplasate în sus şi mai strălucitoare.

Desigur, licărirea pe care o observăm nu este rezultatul unor modificări care au loc chiar pe stele. Acest fenomen poate fi explicat în acelaşi mod ca şi pîlpîirea surselor de lumină terestre (§ 47). Variațiile poziției stelei sînt determinate de curbarea razelor luminoase în curenții de aer rece şi cald (în atmosferă există întotdeauna aer cald şi rece), în special în locurile în care stratul de aer cald trece deasupra celui rece, dînd naştere la vîrtejuri de aer (fig. 69). Modificările de strălucire apar din cauză că razele de lumină, deviate neuniform, se concentrează în anumite locuri deasupra suprafeței Pămîntului, iar în altele sînt relativ rare. Întreaga imagine se deplasează în mod constant (de exemplu, din cauza vîntului) şi observatorul se găseşte astfel cînd într-o regiune mai luminoasă, cînd într-una mai întunecată. Modificarea de culoare trebuie atribuită unei slabe dispersii la o curbare terestră normală a razelor; din cauza acestei dispersii, razele stelei parcurg în atmosferă drumuri oarecum diferite, în funcție de culoarea lor. Calculul arată că pentru o stea la 10° deasupra orizontului, distanța dintre razele violete şi roşii trebuie sa fie de 28 cm la înălțimea de 2 000 m şi 58 cm la 5 000 m. Curenții de aer au, în general, dimensiuni destul de reduse şi se poate întîmpla adeseori ca trecînd printr-un curent de aer, raza violetă să fie refractată, în timp ce raza roşie sa treacă nedeviata (fig. 70). De aceea, momentele în care steaua devine mai luminoasă sau mai puțin luminoasă, în urma licărim diferă de la o culoare la alta.

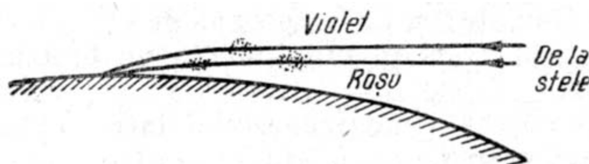


Fig. 70. Apariția culorilor la licărirea stelelor.

În ultimul timp s-a constatat că în fenomenele de licărire joacă un rol şi difracția, în special atunci cînd e vorba de curenți mici de aer la mare înălțime. Licărirea este minimă la zenit; cînd atmosfera este liniştită, licărirea stelelor strălucitoare poate fi observată aici numai rareori. Cu cît

---

[1] Pernter-Exner, op, cit.; „Handbuch der Geophys.", VIII; „Quart. J. Meteor.", 80, 241, 1954.

stelele sînt mai apropiate de orizont, cu atît ele licăresc mai intens. Aceasta se întîmplă din cauza că în acest caz trebuie să privim printr-un strat mai gros de aer şi astfel privirea noastră străbate un număr mai mare de curenţi de aer (vezi fig. 69). Niciodată nu veţi observa modificări în culoarea stelelor situate la o înălţime mai mare de 50°, însă stelele care se află sub 35° îşi schimbă frecvent culoarea. Cel mai frumos licăreşte Sirius, care în lunile de iarnă se vede aproape de orizont.

Stelele licăresc de obicei atît de repede încît, în primul moment, este greu de înţeles ce se întîmplă în realitate, însă un om miop poate studia foarte bine licărirea, ţinîndu-şi ochelarii în mînă şi mişcîndu-i în faţa ochilor în planul lentilelor. Steaua pare să se întindă sub forma unor linii scurte. Este bine ca lentilele să fie mişcate circular; cu puţin antrenament, putem să facem acest lucru uniform, fără salturi (3—4 rotaţii pe secundă). Datorită inerţiei senzaţiei luminoase (§ 93), putem vedea înşirate pe circumferinţă toate modificările succesive de strălucire şi culoare ale stelei. În cazul unei licăriri intense, aceasta este o privelişte minunată ! Uneori în fîşia de lumină formată de stea apar pete întunecate. Aceasta arată că, în aceste momente, lumina stelei nu ajunge de loc la noi. Observînd în cîte nuanţe diferite sînt colorate fîşiile pe circumferinţă, putem calcula de cîte ori pe secundă variază culoarea. Această metodă se bazează pe faptul că sticlele ochelarilor nu joacă numai rolul de lentile, dar şi cel al unei prisme slabe (atunci cînd nu privim prin centrul sticlei).

Există şi alte metode de analiză a fenomenului de licărire :

1) un om cu vederea normală poate folosi ochelari slab concavi; pentru aceasta el trebuie să-şi acomodeze ochii astfel ca şi cum steaua ar fi aproape de el;
2) putem privi printr-un binoclu de teatru, lovindu-1 uşor lateral;
3) putem observa imaginea stelei într-o oglindă de buzunar, rotind oglinda cu unghiuri mici;
4) putem, pur şi simplu, mişca privirea în jurul stelei (pentru aceasta e nevoie de un antrenament îndelungat, vezi § 91).

Există şi o metodă foarte simplă de observaţie, care dă posibilitatea de a aprecia dimensiunile curenţilor de aer[1]. Priviţi o stea care licăreşte viu; îndreptînd privirea ca şi cum v-aţi uita cu ambii ochi la un obiect aflat aproximativ în linie dreaptă cu steaua şi situat la o distanţă de circa 1,5 m de ochi veţi vedea nu o singură stea, ci două stele şi aceste două stele licăresc nesimultan, pentru că ochii se află atît de departe unul de celălalt, încît un curent de aer, trecînd pe lîngă unul din ochii observatorului, nu influenţează celălalt ochi. Aşadar, majoritatea curenţilor de aer trebuie să aibă o grosime mai mică de 7 cm, adică mai mică decît distanţa dintre ochi.

Foarte frumos licăresc Pleiadele; stelele acestui grup sînt apropiate între ele şi concordanţa dintre licăririle lor ne dă posibilitatea de a deosebi diferiţi curenţi de aer care trec în faţa noastră.

Priviţi într-o seară de februarie sau martie la Sirius, care în această perioadă străluceşte mai luminos ca de obicei. Uitaţi-vă printr-o sticlă de geam aburită. Veţi observa că suprafaţa sticlei este iluminată neuniform, însă strălucirea variază simultan pe întreaga suprafaţă iluminată. Ochii noştri sînt mai sensibili la modificările luminozităţii unei suprafeţe decît la modificările strălucirii unui punct luminos.

49. Cum se măsoară licărirea stelelor?

1. Dacă nu ştiţi cum se determină anumite aspecte ale unui fenomen oarecare, puteţi folosi întotdeauna, pentru început, o scară calitativă arbitrară. În cazul nostru, luaţi ca zero o stea care nu licăreşte; steaua cu licărirea maximă, care este vizibilă aproape de orizont, puneţi-o egală cu 10; scările intermediare între O şi 10 le notaţi cu cifrele respective. Astfel de scări provizorii s-au dovedit deosebit de utile în dezvoltarea tuturor ştiinţelor naturii. Ne obişnuim cu notaţiile unei astfel de scări mai repede decît ne-am aştepta şi apoi în scurtă vreme se găseşte un mijloc de a ^rada şi .cantitativ această scară calitativă.
2. O altă metodă simplă de măsurare a turbulenţei ierului este determinarea înălţimii deasupra orizontului la care dispar modificările de culoare sau a înălţimii la care licărirea devine practic neobservabilă.
3. Numărul de variaţii de strălucire pe secundă, care se determină prin rotaţia ochelarilor, dă, de asemenea, un criteriu aproximativ pentru măsurarea licăririi (vezi § 48).

60. Cînd licăresc stelele cel mai intens?

Licărirea intensă a stelelor demonstrează că atmosfera nu este omogenă, că în ea se află straturi de aer de densităţi diferite. Deoarece, însă, această neomogenitate a atmosferei este legată, de

[1] R. Wood, Physical Optics, 76, New York, 1905. Pentru efectuarea acestei experienţe interesante trebuie să învăţăm numai să ne conducem privirea!

obicei, de anumite condiții meteorologice, mulți consideră că licărirea este legată de vreme.

De obicei licărirea se intensifică la o presiune atmosferică joasă, la temperatură scăzută, la umezeală mare, la curbări mari ale izobarelor şi la variații mari ale presiunii cu înălțimeă; licărirea este mult mai puternică atunci cînd vîntul are o intensitate normală decît atunci cînd este foarte slab sau foarte intens. Aşadar, starea de mişcare, respectiv de repaus a atmosferei, depinde de un număr atît de mare de factori complecşi, încît, în prezent, fenomenul de licărire nu poate fi folosit pentru prevederea timpului.

Este interesant de observat că licărirea devine mai intensă atunci cînd stelele se află aproape de nori, ceea ce dovedeşte că în acest caz iau naştere straturi de aer de temperaturi diferite.

Se spune, de asemenea, că licărirea se intensifică în amurg. Aceasta poate să fie o iluzie optică fiziologică sau consecința unor condiții atmosferice speciale. Unii afirmă că licărirea este produsă de aurora polară, însă aceasta este greu de înțeles, ținînd seama de înălțimea mare (peste 100 km) la care apare de obicei aurora polară. Rămîne o enigmă, de ce stelele roşii licăresc mai intens decît cele albe. Licărirea este maximă în partea de nord a cerului; aceasta se poate explica, deşi într-un mod ceva mai complicat.

51. Licărirea planetelor

Planetele licăresc mult mai slab decît stelele. Aceasta pare oarecum curios, deoarece ochiul liber nu discerne planetele de stele. Cauza acestei deosebiri rezidă în faptul că discurile stelelor par simple puncte chiar şi în telescoapele cele mai mari (cel mult de 0,05"), deoarece ele sînt la distanțe uriaşe de noi, în timp ce planetele au diametre vizibile de la 10 pînă la 68" (Venus) sau de la 31 la 51" (Jupiter). Aşadar, în cazul planetelor, printr-o regiune mică, situată la mare înălțime în atmosferă, trece un fascicul de raze luminoase dintre care în ochiul nostru ajunge numai un număr redus. Deoarece curenții de aer deviază după cum ştim, o rază de lumină numai cu cîteva secunde de arc, razele care cad mai întîi în ochiul nostru vor fi urmate de alte raze ale aceluiaşi fascicul; prin urmare strălucirea nu se modifică de loc. Vom observa o variație a strălucirii numai în cazul cînd fasciculul de raze, care a trecut inițial pe lîngă ochi, cade acum în ochi. Însă această modificare va fi foarte slabă, datorită faptului că razele străbat mulți curenți de aer, dintre care unii curbează razele înspre ochiul nostru, iar alții în sens contrar. Atunci cînd Jupiter, de exemplu, se află la 30° deasupra orizontului, conul razelor de lumină care cad în ochiul nostru de la planetă, la o înălțime de 2 000 m, va avea un diametru de 60 pînă la 100 cm. Se înțelege că licărirea planetei devine observabilă cînd variația direcției razelor ei va fi de acelaşi ordin de mărime cu diametrul vizibil al planetei. Iată de ce Venus şi Mercur, care se prezintă, uneori, sub forma unei seceri înguste, au din cînd în cînd o licărire deosebită; iată de ce Venus îşi schimbă culoarea atunci cînd se află aproape de orizont. Cînd atmosfera este foarte agitată şi planetele se găsesc aproape de orizont, observatorul remarcă întotdeauna variațiile de intensitate ale luminii lor.

Licărirea ne dă astfel un mijloc de a aprecia mărimile petelor luminoase care, la observarea cu ochiul liber, apar ca simple puncte. Unii consideră că prin această metodă s-ar putea determina diametrele stelelor, însă, în prezent, afirmația pare exagerat de optimistă.

52. Umbrele zburătoare[1]

Am văzut că licărirea stelelor este produsă de fluctuațiile neregulate de densitate ale atmosferei Pămîntului. De fapt, acesta este acelaşi fenomen ca şi concentrația şi împrăştierea locală a razelor luminoase într-o apă uşor unduită (§ 28); din punctul de vedere al peştilor, Soarele licăreşte tot aşa cum, din punctul nostru de vedere, licăresc stelele (vezi fig. 36), cu singura deosebire că fluctuațiile de grosime ale straturilor de apă sînt înlocuite de fluctuațiile de densitate ale straturilor de aer. Acestea din urmă sînt mult mai puțin importante în comparație cu primele, astfel încît putem observa numai licărirea celor mai strălucitoare surse punctiforme de lumină.

La fel cum se văd concentrările luminoase în apa transparentă, putem vedea foarte bine şi curenții în aer.

Noaptea, într-o cameră foarte întunecată, în care există o fereastră mică, deschisă astfel încît prin ea să pătrundă lumina lui Venus, putem vedea pete de nori alunecînd rapid pe perete sau pe un ecran din carton alb. Acestea sînt „umbrele zburătoare". Ele pot fi văzute bine numai atunci cînd planeta este aproape de orizont. De fiecare dată cînd astrul devine ceva mai strălucitor, pe ecran apare o bandă luminoasă, şi invers, cînd strălucirea scade, pe ecran apare o bandă întunecată (vezi fig. 69). Impresiile, pe care ni le furnizează senzațiile subiective, sînt confirmate şi de datele obiective. Curenții de aer despre care am vorbit nu au o direcție determinată; ei se mişcă la fel ca şi vîntul ce predomină în

---

[1] Gl. Bozet, „C.B.", Paris, 142, 913, 1906; **146,** 325, 1906 .

stratul de aer în care apar curenții.

În afară de Venus, pentru astfel de observații sînt potriviți o serie de aştri ca Jupiter, Marte, Sirius, Betelgeuse, Procyon, Capella, Vega şi Arctur, deşi în aceste cazuri observațiile sînt mai greoaie, datorită faptului că lumina acestor aştri este mai slabă. Curenții de aer pot fi văzuți clar, dacă pe peretele lîngă care ne aflăm cade lumina unui reflector îndepărtat, situat la o distanță pînă la 25 km.

Umbre zburătoare de o formă specială pot fi văzute pe un perete alb sau pe un cearceaf, cu puțin înainte sau imediat după o eclipsă totală de Soare; formele umbrelor amintesc în acest caz de cutele unei cortine gigantice. Aceste umbre zburătoare sînt, de asemenea, curenți de aer care se văd în lumina ultimei seceri a Soarelui, înainte de dispariția sa. În acest moment, fenomenul dă o imagine mai complexă decît o sursă punctiformă de lumină, deoarece fiecare punct este alungit sub forma unui mic arc (§ l, 3), curenții sub formă de nori par compuşi din benzi paralele cu secera solară (în partea ei cea mai luminoasă). Benzile sînt mişcate de vînt, însă noi vedem numai acea componentă a mişcării care este perpendiculară la direcția lor. Un astfel de fenomen durează uneori numai cîteva secunde, adeseori un minut şi chiar mai mult. După distanțele între benzi putem să ne formăm o imagine despre grosimea medie a curenților de aer; ea este de obicei cuprinsă între 10 şi 40 cm.

Pentru a observa asemenea benzi de umbră pe timp de eclipsă solară trebuie să aşteptăm o eclipsă totală care are loc foarte rar. Însă observații de acest gen pot fi efectuate şi la răsăritul (sau apusul) Soarelui, în cursul acelei perioade scurte de timp, cînd deasupra orizontului se vede numai un segment îngust al discului solar. În acest caz, benzile sînt orizontale şi se deplasează în sus şi în jos cu viteza de 1—8 m/s, în funcție de puterea vîntului; distanța între ele este de 3—20 cm. De obicei ele pot fi văzute doar 3 sau 4 s, deoarece segmentul de disc solar, care se ridică deasupra orizontului, devine în scurt timp prea lat.

V. Intensitatea şi strălucirea luminii

53. Stelele ca izvoare de lumină de intensitate cunoscută

Stelele formează un şir natural de surse de lumină de intensități diferite.

Cu ajutorul fotometrelor s-a putut măsura cu mare precizie strălucirea stelelor şi s-a întocmit scara aşa-numitelor mărimi stelare. Aceste mărimi nu au nici o legătură cu dimensiunile stelelor, ci caracterizează numai strălucirea sau intensitatea lor luminoasă.

m — mărimea stelară	i — strălucirea, măsurată în unități arbitrare	m	i
-1	251		
0	100	0	100
1	39,8	0,1	91
2	15,8	0,2	83
3	6,31	0,3	76
4	2,51	0,4	69
5	1,00	0,5	63
6	0,40	0,6	58
7	0,16	0,7	53
		0,8	48
		0,9	44

Strălucirea fiecărei grupe următoare este de 2,51 ori mai slabă decît strălucirea celei precedente. Lăsînd la o parte un coeficient constant, avem: $i = 10^{-0,4m}$

În fig. 71 sînt reprezentate mărimile cîtorva stele situate în vecinătatea constelației Carului Mare, vizibile tot anul. Mărimile stelare ale uneia din constelațiile luminoase de iarnă, Orionul, sînt date în fig. 72[1].

În nopțile întunecoase, departe de luminile oraşelor, vedem de obicei, stele pînă la mărimea a 6-a.

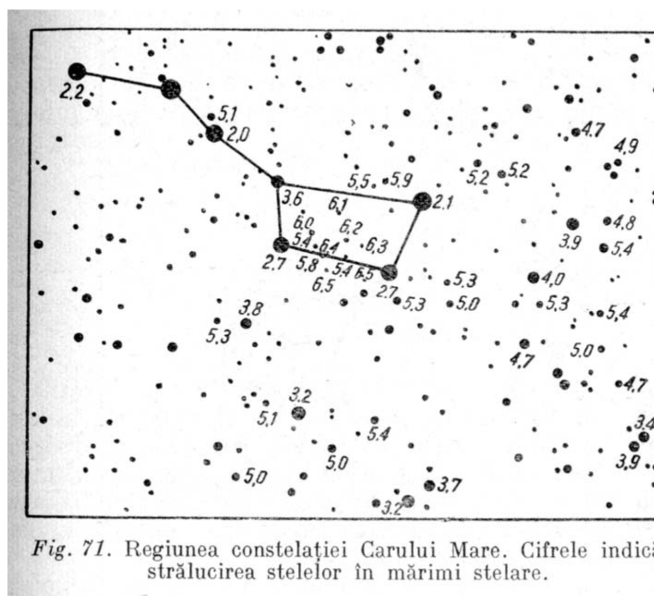


Fig. 71. Regiunea constelației Carului Mare. Cifrele indică strălucirea stelelor în mărimi stelare.

54. Slăbirea luminii în atmosferă

---

[1] Despre strălucirea celorlalte stele se pot găsi informații în următoarele lucrări: Anuarul astronomic al U.R.S.S., editat de Inst. de astronomie teoretică al Acad. de St. U.R.S.S.; Calendarul astronomic întocmit de Societatea unională de astronomie şi geodezie şi oditat de Gostehizdat; A. A. Mihailov, Atlasul cerului stelar, Gostehizdat, 1957; T. G. Kulikovski, îndreptarul astronomului amator, II, Gostehizdat, 1955,

În apropiere de orizont, în urma absorbției razelor de lumină în aer, observăm de obicei un număr foarte redus de stele. Razele îndreptate, practic, orizontal, parcurg în atmosferă un drum mult mai lung decît cele care cad vertical şi suferă, de aceea, o atenuare mai mare a intensității.

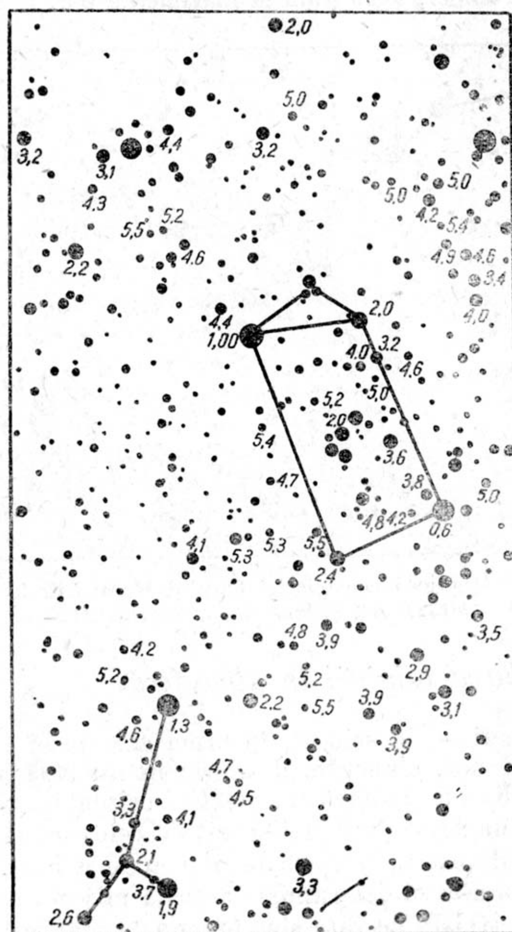


Fig. 72. Regiunea constelației Orionului. Cifrele indică strălucirea stelelor.

Vom încerca să determinăm această mişcare cu ajutorul unei hărți stelare pe care sînt însemnate mărimile stelare; în realitate, cînd Orionul se află aproape de orizont, iar Carul Mare sus, va fi suficient să utilizăm desenele din § 53. Mărimile stelare indicate acolo se referă la poziția stelelor sus pe cer. Să considerăm o stea oarecare A situată aproape de orizont şi să comparăm strălucirea ei cu strălucirea stelelor aproape de zenit (peste 45°, strălucirea, practic, nu mai este slăbită). Pe măsura posibilităților vom alege stele care să aibă aproximativ aceeaşi strălucire ca şi A şi vom determina diferența dintre mărimea observată a stelei A şi cea reală dată în tabelele de mărimi, notînd această diferență cu Δ. Totodată, vom stabili şi înălțimea stelei (§ 265).

Dacă efectuăm aceste măsurători pentru o serie de stele care se află la înălțimi h diferite deasupra orizontului (pentru a obține o primă imagine sînt suficiente zece stele), tabelul nostru va semăna mai mult sau mai puțin cu cel care urmează:

h	Δ	z	sec z
90°	0	O°	1
45	0.09	45	1,41
30	0,23	60	2,00
20	0,45	70	2,69
10	0,98	80	5,73
5	1,67	85	11,4
2	3,10	88	-

Cifrele din coloana a doua, care indică atenuarea luminii produsă de atmosferă, sînt valori medii pentru regiunea noastră, de pe globul pămîntesc, raportate la un cer foarte senin; aceste cifre variază însă în funcție de locul de observare şi, într-o măsură mai mare chiar, de la noapte la noapte. În tabel sînt incluse, de asemenea, distanța zenitală z = 90° — h şi sec z, o mărime proporțională cu lungimea drumului parcurs de lumină în atmosferă (fig. 73).

Să comparăm acum valorile lui Δ şi sec z. Vom observa că punctele se aşază aproximativ pe o dreaptă (fig. 74). Din acest grafic putem determina cu cîte mărimi stelare se micşorează strălucirea stelei pe măsura lungirii drumului parcurs de lumină în atmosferă. Graficul este deosebit de interesant prin faptul că, prelungind dreapta, putem stabili cu cît ni s-ar părea mai strălucitoare steaua, dacă ne-am ridica deasupra atmosferei care înconjoară Pămîntul, adică peste stratosfera. Strălucirea stelelor lîngă zenit ar creşte cu 0,2 mărimi stelare, adică, în unități arbitrare, de la 83 la 100.

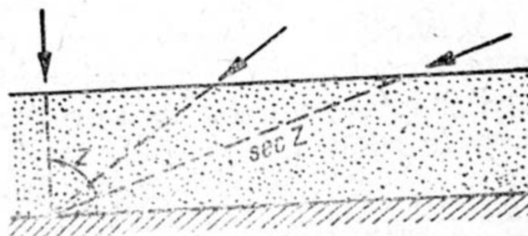


Fig. 73. Cu cît este mai mare înclinarea razei luminoase, cu atît va fi mai lung drumul ei în atmosferă.

Aşadar, 1/6 din lumina razelor care cad aproape perpendicular se pierde şi această concluzie este valabilă în aceeaşi măsură pentru Soare, ca şi pentru stele. Această slăbire se produce nu din cauza absorbției, ci a difuziei luminii, căreia cerul îi datoreşte, de asemenea, culoarea sa albastră (vezi şi § 189).

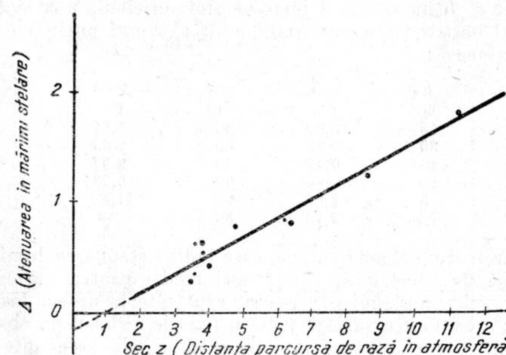


Fig. 74. Atenuarea luminii unei stele, Δ, în mărimi stelare, la diferite distanțe de zenit.

Măsurătorile descrise mai înainte dau rezultate mai bune atunci cînd observațiile se fac asupra unor aştri luminoşi (de exemplu Sirius sau Venus) aflați aproape de orizont (z > 80°).

55. Compararea unei stele cu o lumînare

Să ieşim noaptea pe un loc deschis şi să comparăm lumina unei lumînări cu lumina unei stele strălucitoare, de exemplu Capella. Este surprinzător cît de mult trebuie să ne depărtăm de luminare, pentru ca lumina ei să devină comparabilă cu lumina stelei: aproape la 900 ml Aşadar, pe Pămînt strălucirea Capellei este egală cu $1/900^2$=1 /810000 lx.

Pentru această experiență putem folosi şi o lanternă de buzunar, dar în acest caz trebuie să ne depărtăm şi mai mult. Fixați lanterna pe acoperişul casei sau pe fereastra unui turn înalt şi observați deosebirea de culoare între lumina lanternei şi lumina stelei.

56. Compararea a două felinare de stradă

De fiecare dată cînd în timpul unei plimbări de seară ni se întîmplă să trecem printre două felinare, observăm, cînd iei, cînd colo, cele două umbre ale noastre şi cu cît ne apropiem mai mult de unul din felinare, cu atît mai întunecată devine una din umbre. Este evident că atunci cînd ambele umbre sînt egal de întunecate, iluminarea celor două felinare este identică. Dacă notăm distanţele pînă la felinare respectiv cu a şi b, raportul luminozităţilor lor va fi $A/B = a^2/b^2$

Este surprinzătoare diferenţa care există între culoarea umbrelor aruncate de un felinar cu gaz aerian şi culoarea umbrelor aruncate de o lampă electrică. Comparaţia va fi mai grăitoare, dacă razele de la ambele surse cad asupra unui ecran pe care observăm umbrele sub acelaşi unghi.

57. Compararea Lunii cu un felinar de stradă

Găsiţi două umbre aruncate de aceste două surse de lumină. Umbra Lunii are o nuanţă roşiatică, iar cea a felinarului una albastră-închisă (vezi § III), îndepărtîndu-ne de felinar, umbra Lunii rămîne la fel de întunecată, în timp ce umbra felinarului păleşte. Să admitem că la o distanţă de 20 m de felinar, ambele umbre sînt la fel. Putem aprecia intensitatea luminii unei lămpi electrice obişnuite la 50 lumeni; atunci la o distanţă de 20 m de ea, iluminarea va fi $50/20^2 = 0{,}13$ lx. Prin urmare, tot atît de mare trebuie să fie şi iluminarea datorită Lunii pline în timpul experienţei noastre.

Să repetăm acum experienţa în timpul primului sau celui de-al treilea pătrar. Iluminarea se va micşora cu mult mai mult de jumătate, pentru că o mare parte din suprafaţa Lunii este acoperită de umbrele munţilor din Lună (vezi § 191). Valorile exacte ale iluminării produse de Lună sînt următoarele: pentru Luna plină — 0,20 lx, pentru primul sau al treilea pătrar — 0,02 lx.

58. Strălucirea discului lunar

Atunci cînd J. Herschel a plecat în Africa de sud şi corabia sa a ajuns la Capetown, savantul a observat cum Luna aproape plină se ridică deasupra Muntelui Mesei, iluminat de razele Soarelui care apunea. Herschel a fost uimit de faptul că stîncile păreau mai luminoase decît Luna, ceea ce l-a dus la concluzia că suprafaţa lunară trebuie să fie compusă din roci întunecate.

Puteţi efectua aceeaşi observaţie, comparînd Luna plină, care răsare pe la orele 6 seara, cu un perete alb iluminat de Soarele care apune. Distanţele dintre Soare şi Lună şi dintre Soare şi Pămînt sînt practic egale. Dacă Luna şi peretele ar fi făcute din acelaşi material, strălucirea lor ar fi egală, independent de faptul că distanţele lor faţă de observator diferă mult (un. exemplu minunat de aplicare a teoremei clasice a fotometriei!). Diferenţa observată în străluciri poate fi atribuită faptului că Luna este compusă din roci întunecate (cenuşă vulcanică).

Pentru ca observaţiile să fie exacte, Soarele şi Luna trebuie să se afle la aceeaşi înălţime deasupra orizontului. În acest caz, slăbirea luminii, la trecerea prin atmosferă, va fi aceeaşi pentru ambele corpuri cereşti.

59. Cîteva relaţii de strălucire în peisaj

Strălucirea Soarelui — 300 000 x strălucirea cerului albastru.

Strălucirea unui nor alb = 10 X strălucirea cerului albastru.

Pe o zi însorită obişnuită, 80.% din lumină provine direct de la Soare, iar 20% de la cer.

Iluminarea produsă pe un plan orizontal de către cerul senin după apusul Soarelui are următoarele valori:

Înălţimea Soarelui: 0°	-1°	-2°	-3°	-4°	-5°	-6°	-8°	-11°	-17°
Iluminarea (luxi): 400	250	113	40	13	4	1	0,1	0,01	0,001

Ochiul se adaptează la orice luminozitate atît de rapid şi de bine, încît niciodată nu sesizăm pe deplin cît de mari sînt diferenţele de strălucire în jurul nostru. Să comparăm un peisaj iluminat de Soarele situat la zenit cu un peisaj iluminat de Lună:

Discul solar ..... 400.10^9	Discul lunar 90 000
Un obiect complet alb 7.10^6	Un obiect complet alb 15
Un obiect complet negru $0{,}14.10^6$	Un obiect complet negru 0,3

De aici se vede că, în acelaşi peisaj, raportul strălucirilor nu depăşeşte 50/1. Totuşi, în mărimi absolute, iluminarea variază foarte mult. Un obiect complet negru este în lumina solară de 10 000 ori

mai strălucitor decît o hîrtie albă la lumina Lunii.

În lumina solară, iluminarea totală este de 500 000 de ori mai mare decît la lumina Lunii.

Obiectele în umbră sînt de 10 ori mai slab iluminate, decît cele neprotejate de Soare. Locurile cele mai întunecate ziua sînt porțile boltite ale clădirilor, intervalele dintre frunzişul copacilor etc., care creează, uneori, contraste puternice în peisaj. Iluminarea lor nu depăşeşte 1 lx.

Putem să ne formăm o idee asupra diferenței de strălucire între diferitele obiecte ale unui peisaj, Comparînd coeficienții lor de reflexie:

Pămîntul umed.. . 8-9%
Rîurile şi bălțile .. 7%
Oceanele adînci .. 3%
lazurile şi şanțurile . 2%
Zăpada proaspătă . 80—85%
Zăpada veche.. . 40%
Iarba 10-33%
Pămîntul uscat .. 14%

Dacă facem observații din avion putem vedea cum variază strălucirea diferitelor porțiuni ale peisajului datorită difuziei luminii în aerul prin care privim în jos. Norii reflectă pînă la 80% din lumină.

60. Puterea de reflexie

Ați văzut vreodată reflexia stelelor în apă? Dacă la oraş această ocazie este foarte rară, la țară, în nopțile întunecate fără vînt, reflexia stelelor în iazuri sau în lacuri este un fenomen frecvent şi foarte interesant.

Stelele strălucitoare de mărimea 1, apropiate de zenit dau imagine slabă, egală aproximativ cu strălucirea unor stele de mărimea a 5-a. Diferența de 4 mărimi înseamnă că raportul intensităților este egal aproximativ cu 40 şi, prin urmare, apa reflectă doar 2,5% din lumina razelor care cad vertical pe suprafața ei. Stelele aflate aproape de orizont se reflectă mai bine.

Puterea de reflexie este legată de indicele de refracție prin formula lui Fresnel şi în cazul incidenței perpendiculare este egală cu:

$$(n-1 / n+1)^2$$

În tabelul ce urmează sînt date valorile puterii de reflexie a apei şi sticlei la diferite unghiuri de incidență:

Unghiul de incidența	0°	10	20	30	40	50	60	70	75	80	85	90
Puterea de reflexie — Apă	0,020	0,020	0,021	0,022	0,024	0,034	0,060	0,135	0,220	0,350	0,580	1,000
Sticlă (n=1,52)	0,043	0,043	0,044	0,045	0,049	0,061	0,091	0,175	0,257	0,388	0,615	1,000

Acum se înțelege de ce la oraş nu putem vedea niciodată reflexia stelelor: acolo cerul nu este suficient de întunecat, aşa încît abia se văd stelele de mărimea a treia; pe de altă parte, apa este iluminată prea puternic. Se văd numai reflexiile planetelor şi asta numai atunci cînd luminozitatea lor este mult mai mare decît mărimea I.

Este răspîndită prejudecata că stelele nu se reflectă niciodată în apele adînci. Aceasta însă nu are nici un fel de temei. Apariția prejudecății se explică parțial prin faptul că aproape totdeauna observăm suprafața apei sub un unghi foarte mic față de orizont, parțial însă o putem atribui şi unor factori psihologici.

Priviți reflexia pe o suprafață liniştită de apă şi țineți orizontal în fata dumneavoastră o oglindă de buzunar şi o bucată de sticlă întunecată, comparînd strălucirea lor cu strălucirea apei la diferite unghiuri de incidență.

Şi ziua putem observa cum variază puterea de reflexie a apei cu unghiul de incidență. Orice băltoacă la marginea drumului arată în mod diferit, după cum observatorul o priveşte perpendicular sau oblic. Dacă zburăm cu avionul deasupra mării, putem observa cît de întunecată pare apa de sub noi şi

cît de luminoasă este ea la orizont.

Ziua, strălucirea cerului albastru reflectat în apă, a imaginilor reflectate ale caselor şi copacilor depăşeşte aparent, cu mult 2%, iar uneori abia se poate percepe o diferenţă în strălucirea obiectelor şi imaginilor. Aceasta însă este pur şi simplu o iluzie optică.

Fiecare faţă a unui geam reflectă doar 0,043 din lumina incidenţa, adică în total 0,086. În multe construcţii de sticlă de dimensiuni mici ca, de exemplu, chioşcurile de telefon iluminate de sus de o lampă electrică, se pot vedea reflexii repetate de două geamuri paralele şi opuse; o lampă mată obişnuită dă dintr-o dată patru imagini vizibile pe fiecare din pereţi. Prima este produsă de lumina reflectată o singură dată, a doua de razele reflectate de trei ori, a treia de cele reflectate de 5 ori, iar a patra de lumina reflectată de şapte ori. Strălucirea ultimei imagini reprezintă, astfel, în total $(0,086)^7$, adică mai puţin de a zecea milioana parte din strălucirea iniţială! Acest calcul simplu arată, în mod grăitor, cît de larg, este diapazonul strălucirilor la care poate reacţiona ochiul nostru.

61. Transparenţa unei reţele de fire

Reclamele luminoase de pe acoperişuri sînt montate deseori pe o reţea de fire fixată, la rîndul ei, pe o carcasă metalică.

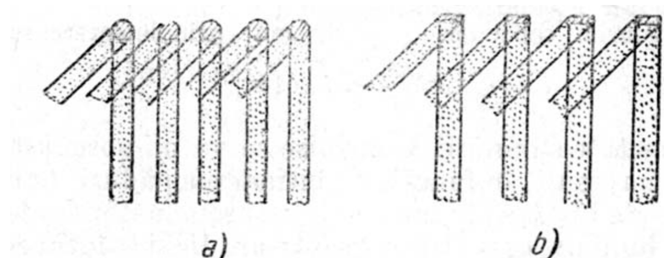


Fig. 75. Lumina interceptată de o reţea de fire, văzută din două direcţii:
a) dacă firul are o secţiune transversală circulară; *b)* dacă reţeaua constă din benzi plane.

De la distanţă, diferitele fire nu se mai pot deosebi şi reţeaua ne aminteste de o suprafaţă de sticlă cenuşie. E interesant să privim această reţea sub un unghi din ce în ce mai mic; vom observa că ea devine din ce în ce mai întunecată pe fondul cerului. Aceasta demonstrează că firul din care este făcută reţeaua are o secţiune transversală circulară, deoarece dacă reţeaua ar fi fost făcută din benzi plane mici, ea ar fi rămas egal de întunecată, indiferent de unghiul sub care am fi privit-o (fig. 75).

62. Gradul de netransparenţă al pădurilor

Privind printr-o fîşie îngustă de pădure vedem printre copaci cerul luminos. Desigur, trebuie să existe o anumită formulă care să ne arate ce fracţiune a luminii ajunge la noi.

Pentru aceasta vom admite că distribuţia copacilor este arbitrară şi că pe metru pătrat cresc N copaci, iar la nivelul ochiului, diametrul trunchiurilor este D.

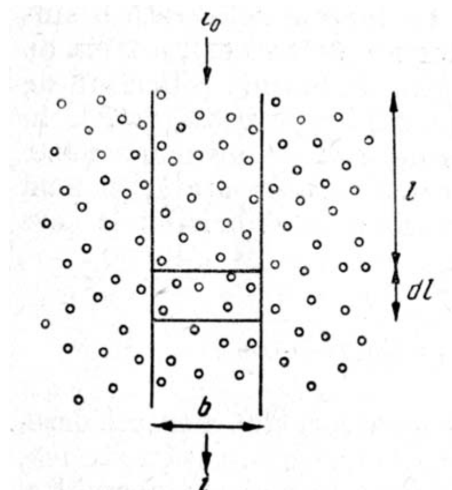


Fig. 76. Cum se calculează intensitatea luminii care poate fi văzută într-o pădure printre trunchiurile copacilor.

Să considerăm că un fascicul de lumină de lărgime b a parcurs deja o distanţă l prin pădure (fig. 76). Fie i intensitatea luminoasă care a rămas din intensitatea iniţială i_0. Cînd razele de lumină pătrund puţin mai departe pe distanţa mică dl, intensitatea luminoasă variază cu di în conformitate cu formula

$di/i = - NDbdl/b = - dlND$ de unde, prin integrare, se obţine:

$i = i_0 \cdot e^{-NDl} = i_0 \cdot 10^{-0,43\ NDl}$.

Intensitatea luminii transmise se va micşora astfel din ce în ce mai mult, în funcţie de întinderea pădurii în direcţia în care cade lumină; în mod cu totul asemănător scade intensitatea luminii care trece printr-un lichid întunecat, în funcţie de grosimea stratului de lichid.

Să presupunem că, într-o pădure de brazi, N = i pe metru pătrat şi D = 0,10 m. În acest caz avem aproximativ:

l = 10 m	i/i_0=0,37
25 m	0,10
50 m	0,01
70 m	0,001

Este uimitoare iuţeala cu care creşte netransparenţă. Estimînd, cu aproximaţie, fracţiunea de orizont încă neacoperită de copaci, putem determina adîncimea pădurii.

Cît de mare este N D într-o pădure de fagi, într-un brădiş tînăr şi într-un codru de brazi?

În legătură cu această problemă, putem adăuga cîteva observaţii interesante bazate pe teoria probabilităţilor[1].

De exemplu, numărul ochiurilor luminoase dintre copaci este proporţional cu l^2e^{-NDl}, unde l reprezintă distanţa pînă la marginea pădurii. Pe măsură ce ne apropiem de marginea pădurii, vedem că numărul ochiurilor de lumină mai întîi creşte treptat, iar apoi începe să scadă rapid.

Numărul maxim se atinge pentru l = 2/Nd

În mijlocul unui crîng, numărul de trunchiuri dincolo de care se mai poate vedea ceva este $4\pi/Nd^2$ sau 1257 în exemplul nostru.

63. Dîre de lumină într-un gard dublu (fotografia X)[2]

Dacă la un gard dublu se privesc stîlpii unui şir printre stîlpii celuilalt se pot vedea benzi largi întunecate şi luminoase care se deplasează o dată cu mişcarea observatorului. Aceste benzi sînt

[1] H. Bock, „Zs. phys. chem. Unterricht", 53, 139, 1940.
[2] Niederhoff, „Zs. f. Sinnesphysiol.", 65, 27, 232, 1944; 66, 213, 1936.

determinate său de faptul că distanțele dintre stîlpii celor două şiruri din gard sînt mai mult sau mai puțin neuniforme, sau pentru că într-un şir stîlpii sînt mai îndepărtați între ei, sau, în sfîrşit, pentru că distanțele lor față de ochiul observatorului sînt diferite. În unele direcții, stîlpii par să coincidă şi, ca să spunem aşa, merg „în cadență", iar în altele, stîlpii primului rînd intră exact în intervalele dintre stîlpii rîndului al doilea, în urma cărui fapt apare diferența în strălucirea medie.

Observînd odată aceste „bătăi", le veți zări apoi peste tot. Orice pod care are în ambele părți un parapet sub formă de palisadă prezintă astfel de benzi, dacă-i privim de la o anumită distanță. Ele apar, de asemenea, dacă în spațiul dintre stîlpi se văd umbrele stîlpilor; în acest caz, intervalele dintre stîlpi şi dintre umbre sînt egale, însă diferă distanțele pînă la ochiul nostru.

În unele gări, liftul de bagaje este împrejmuit cu o rețea de sîrmă, astfel încît partea mai apropiată de noi împreună cu cea mai îndepărtată, formează un fel de moar asemănător cu cel care se creează dacă suprapunem două rețele din fire subțiri sau doi piepteni cu dinții neuniform de deşi.

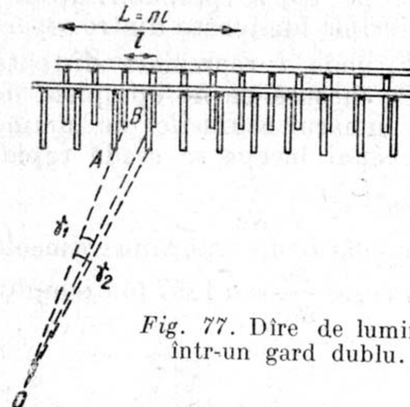


Fig. 77. Dîre de lumină într-un gard dublu.

Să analizăm mai amănunțit un caz simplu (fig. 77): două „garduri" identice care se află la distanțele x_1 = OA şi x_2= OB de ochiul nostru. Să notăm cu l distanța dintre doi stîlpi vecini; în primul caz vedem stîlpul sub unghiul $\gamma_1 = l/x_1$, iar în al doilea sub unghiul $\gamma_2 = l/x_2$

Pe lungimea unei bătăi se vor număra n stîlpi, unde n este egal cu $\gamma_2/ \gamma_1- \gamma_2 = x_2/ x_2-x_1$; cu alte cuvinte, lungimea „bătăii" creşte pe măsură ce ne îndepărtăm de gard. Unghiul θ subîntins de „undă" rămîne, dimpotrivă, acelaşi, deoarece

$$\theta = n \gamma_2 = l/ x_2-x_1$$

Mişcîndu-ne paralel cu gardul, putem determina lungimea adevărată a „bătăii":

$$L = nl = lx_2 /x_2-x_1$$

deoarece „bătăile" se vor propaga cu aceeaşi viteză ca şi noi.

Măsurînd acum distanța care trebuie parcursă, pentru ca „bătaia" să ocupe locul celei care a precedat-o, veți putea verifica justețea formulelor. Sau, invers, determinînd pe n, θ şi L veți găsi pe x_2, x_2 — x_1 şi l. Astfel, fără a folosi nici un fel de alte mijloace, puteți stabili, de la distanță, toate dimensiunile gardului..

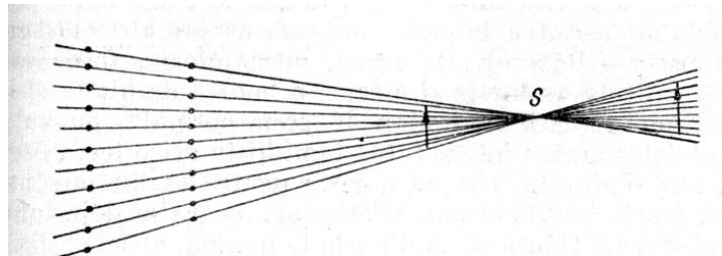


Fig. 78. Dîre de lumină printr-un gard, cu două şiruri avînd perioade diferite.

Dacă perioadele celor două şiruri sînt diferite, dîrele de lumină se vor deplasa pe măsură ce ochiul nostru se mişcă, cînd în direcția mişcării, cînd în direcție opusă, în funcție de faptul dacă ne găsim înaintea sau după punctul S (fig. 78), cu alte cuvinte, în funcție de faptul dacă $\gamma_1 < \gamma_2$ sau $\gamma_1 > \gamma_2$.

Dîrele de lumină se vor propaga din ce în ce mai repede pe măsură ce ne apropiem de S.

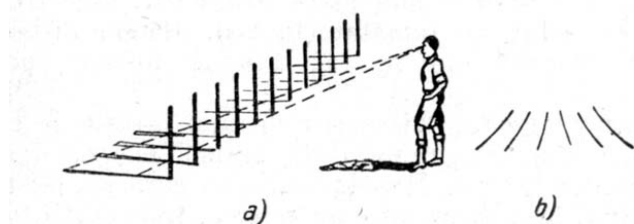


Fig. 79. Dîre de lumină între stîlpii unui gard şi umbrele lor:
a) condiţiile de observare; *b)* imaginea observată.

Atunci cînd un gard vertical aruncă o umbă pe pămînt, dîrele de lumină arată oarecum altfel (fig. 79): vîrfurile benzilor se apropie, se observă, de asemenea, şi o oarecare curbare a lor. Toate acestea sînt totuşi în concordanţă deplină cu cele de mai sus: distanţa dintre aceste două reţele „suprapuse" este maximă la vîrf şi, de aceea, distanţele unghiulare dintre benzile succesive diferă sensibil, ceea ce înseamnă că dîrele de lumină se aşază aproape una de alta; altfel stau lucrurile la baza gardului.

64. Fotometria fotografică[1]

În magazinele de articole fotografice se vinde „hîrtie de zi" care, la lumina Soarelui, devine foarte repede brună-roşcată. Măsurătorile arată că timpul necesar pentru ca hîrtia să capete o anumită culoare este, în general, invers proporţional cu intensitatea luminii care cade asupra hîrtiei (legea lui Bunsen — Roscoe). De aceea, dacă folosim totdeauna aceeaşi calitate de hîrtie şi alegem o bucată de hîrtie obişnuită brună-roşcată ca etalon de „ton normal", nu va fi greu să determinăm intensitatea luminii în orice loc, observînd, pur şi simplu, timpul necesar pentru ca hîrtia sensibilă să capete tonul normal. Hîrtia care a căpătat deja tonul normal trebuie ţinută cît mai puţin la lumină, altfel se decolorează.

Tonul normal trebuie ales cu multă grijă. Să expunem la Soare o foaie de hîrtie de zi şi să acoperim treptat cîte o fişie expusă la lumină timp de 10, 20, 40, 80, 160, 320 şi 640 s. Privind apoi, această foaie la lumină slabă, vom observa că primele şi ultimele benzi diferă puţin între ele; dimpotrivă, cel mai bine au ieşit benzile intermediare. Să alegem ca etalon o bucată de hîrtie (o copertă de carte sau un afiş) de aceeaşi culoare şi, pe cît posibil, de aceeaşi nuanţă ca şi una din benzile intermediare. Nu are o prea mare importanţă dacă nuanţele nu coincid perfect; la comparaţie trebuie acordată o atenţie mai mare strălucirii, care trebuie apreciată cu ochii pe jumătate închişi. Hîrtia de zi nu trebuie developată sau fixată; benzile folosite pot fi aruncate.

Cu această metodă, Wiesner a efectuat o serie de experienţe pentru a studia „climatul de lumină" necesar dezvoltării diferitelor plante. Metoda poate să pară simplistă şi aproximativă, însă ea permite aprecierea, în condiţii foarte bune, în diferite locuri şi în împrejurările cele mai variate, a unei mărimi despre care nu ne putem forma altfel nici cea mai vagă idee.

Determinaţi iluminarea unui plan orizontal la diferite înălţimi ale Soarelui.

Comparaţi lumina pe o zi însorită: a) cînd un ecran aruncă umbră asupra acestui plan şi b) fără ecran; comparaţi pe această cale lumina care provine nemijlocit de la Soare cu lumina cerului albastru.

Comparaţi iluminările părţilor superioare şi inferioare ale unei foi orizontale de hîrtie. Raportul iluminărilor va fi: deasupra apei — 6, deasupra unui prundiş — 12, deasupra ierbii — 25.

Comparaţi luminozitatea cerului albastru în diferite direcţii, fixînd o hîrtie fotografică pe fundul unor tuburi de dimensiuni egale, aşezate sub unghiuri diferite faţă de orizont. De obicei, cerul apare cel mai întunecat la un unghi de 90° faţă de Soare (vezi § 195).

Comparaţi iluminarea în mijlocul unei păduri şi în afara ei („în afară" înseamnă la cel puţin 20 m de marginea pădurii).

Comparaţi iluminările într-o pădure de fagi: a) la mijlocul lunii aprilie; b) în perioada apariţiei primelor frunze; c) la începutul lui iunie, într-un caz s-a găsit că iluminările erau de respectiv 1/11, 1/30, 1/64 din iluminarea în afara pădurii.

Măsuraţi iluminarea în locurile unde cresc următoarele plante:

---

[1] J. Wiesner, Der Lichtgenuss der Pflanzen, Leipzig, 1907 ; „Denkschr. Akad. Wien", 64, 1896; **67,** 1898; „Sitzungsber, Akad. Wien", 1900 şi 1905.

Pătlagina mare (Plantago major) l	
Iedera (Hederă helix)	........de la l la 0,22 (înflorită)
	........de la l la 0,02 (cu ramuri goale)
Iarba neagră (Callună vulgaris) de la l la 0,10	
Feriga de cîmp (Pteridum aquilinum) pînă la 0,02	

Determinați iluminarea în interiorul coroanelor dense ale copacilor; mărimea ei este apropiată de iluminareaminimă la care se mai pot dezvolta puieții. Pentru copaci izolați au fost găsite următoarele valori (exprimate în fracțiuni ale iluminării în afara copacului): foioase — 0,20; mesteacăn - 0,11; pin - 0,10; brad - 0,03; fag - 0,01.

Aceste relații numerice se numesc în limbajul specialiştilor factorii luminii de zi. Ele pot fi folosite şi pentru caracterizarea iluminării într-o casă de locuit, fiind parțial utilizate la proiectarea sistemelor de iluminat.

VI. Ochiul

Studiul naturii trebuie să cuprindă, în mod obligatoriu, şi cercetarea mecanismelor fiziologice de producere a senzaţiilor omului. Pentru a dobîndi precizie în observaţiile noastre asupra luminii şi culorilor trebuie să cunoaştem, în primul rînd, instrumentul pe care-l folosim în mod constant în percepţia optică şi anume ochiul omenesc. Este foarte instructiv să cunoaştem felul în care se prezintă natura în sine şi cum apare ea în interacţiune cu ochiul nostru. Proprietăţile ochiului se pot cerceta cel mai bine în aer liber, mediul la care ne-a adaptat natura.

65. Vederea sub apă

N-aţi încercat niciodată să deschideţi ochii sub apă? Puţintel curaj, nu e greu deloc! Fiecare obiect pe care-l privim sub apă devine neclar, ceţos, chiar într-un bazin cu apă foarte curată. În aer, corneea este aceea care concentrează razele de lumină şi formează imaginile pe retină, cristalinul contribuind numai în mică măsură la aceasta. Sub apă însă, acţiunea corneei se reduce la zero, în urma faptului că indicii de refracţie ai apei şi ai lichidului care se află în interiorul ochiului nostru sînt practic egali şi razele trec prin cornee direct, fără să fie refractate (fig. 80). Pe baza unei astfel de experienţe putem să ne dăm uşor seama cît de prost am vedea dacă imaginea ar fi creată numai de cristalin. Sub apă sîntem atît de prezbiţi, încît focalizarea corectă a ochiului este aproape imposibilă şi punctul luminos, indiferent la ce distanţă s-ar află, rămîne la fel de difuz.

Pentru a deosebi un obiect, există o singură posibilitate: să-l apropiem de ochi într-atîta, încît să-l privim sub un unghi mare. În acest caz, caracterul difuz de neînlăturat al contururilor nu mai constituie un impediment serios.

În apa curată o monedă mică poate fi distinsă la o distanţă egală cu lungimea mîinii (60 cm), iar o bucată de sîrmă de oţel nu poate fi văzută, în general, la nici o distanţă; un înotător însă poate fi observat pînă la 9 m distanţă. În linii mari, putem spune că un obiect de lungime v se observă la o distanţă egală cu cel puţin 30c; forma sa aproximativă poate fi stabilită la distanţa 5c. Putem spune că îl vedem bine numai cînd$_t$ obiectul se află la o distanţă egală cu lungimea sa proprie.

Pentru a vedea normal, sînt necesari ochelari foarte puternici, însă, din păcate, acţiunea ochelarilor sub apă este de 4 ori mai slabă decît în aer. Mai prost este faptul că astfel de lentile puternice îşi pierd o parte din eficacitatea lor cînd sînt fixate doar la cîţiva milimetri de ochi! Ţinînd seama de toate acestea, ar trebui să luăm o lentilă de 100 de dioptrii, adică cu distanţa focala de 1 cm! Ar fi nevoie deci, de exemplu, de o lupă care se foloseşte la controlul ţesăturilor.

Observaţi cît de greu este de apreciat distanţa sub apă atît cu ochelari, cît şi fără. Obiectele apar difuze şi aproape fantomatice.

Încercaţi să vă uitaţi în sus, stînd culcat sub apă. Razele de lumină, pătrunzînd în apă, formează cu verticala un unghi mai mic de 45°, astfel încît deasupra capului nostru vedem un cerc mare luminos. Dacă privim însă într-o parte, în ochi cade o rază care suferă o reflexie internă totală pe suprafaţa apei şi noi vedem numai imaginea reflectată a fundului slab iluminat (fig. 81). Astfel apare lumea şi peştilor!

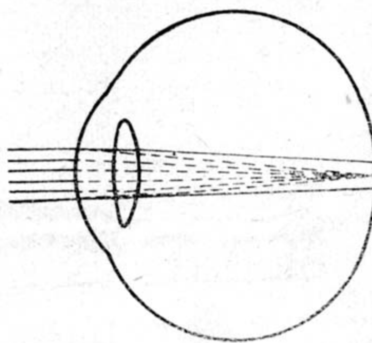


Fig. 80. Dacă privim sub apă, în ochi nu se formează o imagine clară. Liniile pline marchează traiectoria razelor de lumină percepute sub apă; liniile punctate — razele de lumină vizibile în aer.

Putem să ne facem o idee corectă asupra modului cum o vede sub apă, stînd în ea şi ţinînd în mînă o oglindă uşor înclinată şi străduindu-ne să nu tulburăm liniştea apei. Observaţi cum se contractă pe verticală obiectele care se află deasupra apei, cu atît mai mult cu cît sînt mai apropiate de orizont. Fiecare din ele este înconjurat de un nimb foarte frumos colorat.

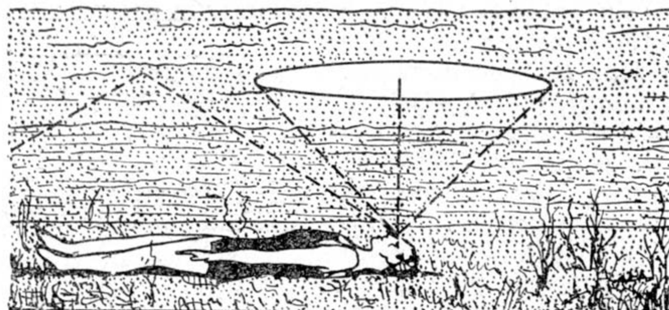


Fig. 81. În acest moment vedem ca peştii.

66. Cum se poate face vizibil interiorul ochiului

Un observator încercat poate vedea pata galbenă a ochiului său (locul central cel mai sensibil al retinei) înconjurată de un inel mai întunecat, în care nu există vase sanguine[1]. Seara, după ce aţi stat un timp oarecare la aer, priviţi cerul senin, cînd apar primele stele, închideţi ochii pentru cîteva secunde şi deschideţi-i apoi din nou, privind, în continuare, cerul, întunericul dispare, la început, la marginile cîmpului vizual şi se retrage rapid înspre centru, unde devine vizibilă pata galbenă cu marginea întunecată. Uneori ea se iluminează chiar pentru o clipă.

Cînd ne plimbăm de-a lungul unui gard înalt prin care străbat razele solare, nu o dată Soarele ne bate direct în ochi. Dacă privim drept înainte şi nu întoarcem ochii spre Soare, putem observa, cu surprindere, că fiecare sclipire este însoţită de figuri luminoase neclare pe un fond întunecat — pete, reţele, linii laterale, de formă neregulată. Datorită iluminării neobişnuite, noi vedem în acest fel vasele de sînge ale retinei.

Putem privi şi altfel în interiorul ochiului. Dacă ne uităm la cerul întunecat rotind în faţa ochiului un cerc mic de hîrtie fixat pe un ac de gămălie, vom observa foarte clar pata galbenă etc.

67. Pata oarbă

[1] H. Helmholtz, Physiologische Optik, ediţia a 3-a, vol. II, 255. Personal nu am reuşit să efectuez această experienţă.

O altă regiune importantă a retinei noastre este „pata oarbă" unde nervul vizual intră în ochi. Aici nu există celule sensibile la lumină. Această pată este la circa 15° de pata galbenă, înspre nas. Astfel, dacă fixăm cu privirea un semn în fața noastră, un alt semn, care se află la 15° de primul, devine invizibil (față de ochiul drept acest semn se va afla la dreapta, față de cel stîng — la stînga). Acest fenomen poate fi observat bine dacă privim o stea. Alegeți momentul cînd Vega şi steaua β din constelația Lebăda se află aproximativ la aceeaşi înălțime, închideți ochiul stîng şi priviți cu atenție la steaua β din constelația Lebădă; Vega cea strălucitoare dispare! Poate că va trebui să înclinați puțin capul; dacă îl înclinați ceva mai mult, steaua apare din nou. Acest fenomen poate fi observat toamna şi la stelele din constelația Carul Mare; dacă fixăm cu ochiul drept steaua foarte slabă δ steaua strălucitoare η dispare[1]. În serile de primăvară, constelația se află în poziție inversă şi experiența poate fi efectuată cu ochiul stîng. Nu este greu de găsit şi alte exemple.

Ceea ce pare cel mai neaşteptat este faptul că, de obicei, noi nu observăm „găuri" în cîmpul nostru vizual. Ochii noştri efectuează în mod permanent o mişcare de oscilație şi în afară de aceasta să nu uităm că avem doi ochi.

68. Miopia de noapte[2]

Dacă obişnuiți să vă plimbați în amurg, ați observat, poate, că, o dată cu lăsarea întunericului, deveniți din ce în ce mai miop şi conturuirile peisajului încetează de a mai fi nete. Modificările de acomodare ale ochilor pot fi uşor măsurate. Să presupunem că în timpul zilei ochii dumneavoastră formează în stare liniştită şi fără eforturi speciale (cu ajutorul unor ochelari, poate) imagini nete ale unor obiecte îndepărtate. Dacă, apoi, în amurg nu puteți vedea în focar un obiect aşezat la o distanță mai mare de 1 m, aceasta înseamnă că ați devenit miop şi miopia dumneavoastră este de l dioptrie. Limita de 2 m corespunde la 1/2 dioptrii. În general, miopia de noapte este de circa 0,6 dioptrii, însă adeseori atinge şi 2 dioptrii. Acest fenomen a fost studiat intens în ultimul timp.

Au fost propuse două explicații:

1. Atunci cînd iluminarea scade, pupila ochiului se măreşte şi marginile cristalinului încep să joace un rol mai mare în formarea imaginii, însă această zonă de margine este deformată şi „mioapă" în comparație cu partea centrală; miopia de noapte este provocată, aşadar, de aberația sferică a ochiului.
2. În timpul zilei, ochiul este mai sensibil la culoarea galbenă, în timp ce, în amurg, maximul de sensibilitate se deplasează înspre verde-albastru (vezi § 89). Ochiul, ca şi orice lentilă, refractă razele verzi-albastre mai puternic decît cele galbene; noi devenim, prin urmare, miopi față de razele verzi-albastre, din cauza aberației cromatice a ochiului. Aceasta explică circa 0,5 dioptrii. Dacă însă miopia de noapte este mai mare, sînt necesare alte explicații.

69. Imaginile imperfecte, create de ochi

Stelele ne apar ca nişte figuri mici de formă neregulată, adeseori ca nişte puncte din care diverg raze. Reprezentarea obişnuită a stelelor prin cinci raze nu corespunde realității. Să considerăm steaua cea mai strălucitoare, de exemplu Sirius, sau, şi mai bine, planeta Venus sau Jupiter; discul lor vizibil este atît de mic, încît, practic, nu poate fi deosebit de un punct, iar în ceea ce priveşte strălucirea, ele întrec stelele cele mai strălucitoare.

Să înclinăm capul mai întîi spre dreapta, apoi spre stîngă; în mod corespunzător se va înclina şi imaginea stelei. Pentru fiecare om şi chiar pentru fiecare ochi, această imagine este diferită; dacă însă acoperim un ochi cu mîna şi cu celălalt privim diverse stele, imaginea va avea întotdeauna aceeaşi formă. De aici rezultă că nu stelele au forme neregulate, ci ochii noştri greşesc şi nu reproduc punctul ca un punct.

---

[1] Pe fig. 71, δ şi η sînt stele de mărimea 3,6 m şi 2,2 m.

[2] Vezi, de exemplu, M. Koomen, R. Skolnik, R. Tousey, „J. Optic. Soc. Amer.", **41,** 80, 1951 şi **43,** 27, 1953; Ivanov, „.!. Optic. Soc. Amer.", 46, 769, 1955. A doua explicație a fost propusă de V. Ronchi (Florența). 8 113

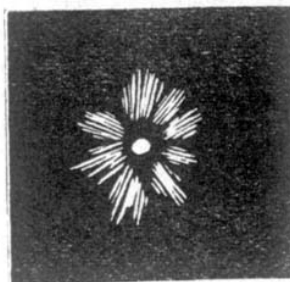


Fig. 82. O stea sau o lampă îndepărtată, văzută fără ochelari de un miop.

Cînd ne aflăm în întuneric şi pupila este larg deschisă, imaginea stelei se măreşte şi devine mai puţin clară. La o iluminare bună, cînd pupila devine mică de tot, imaginea se micşorează, într-adevăr, Hallstrand a demonstrat că cristalinul este deformat la margini, acolo unde sînt fixaţi muşchii, şi atunci cînd lumina trece aproape de aceste margini, claritatea imaginilor se reduce.

Să luăm o foaie de hîrtie în care am făcut un orificiu cu diametrul de l mm şi s-o aşezăm cu orificiul în faţa pupilei. Căutînd pe bolta cerească o planetă sau pe Sirius, ne vom convinge că imaginile lor sînt perfect circulare. Să deplasăm apoi orificiul spre marginea pupilei. Punctul luminos se întinde; la mine, el se alungea într-o linie de-a lungul razei pupilei.

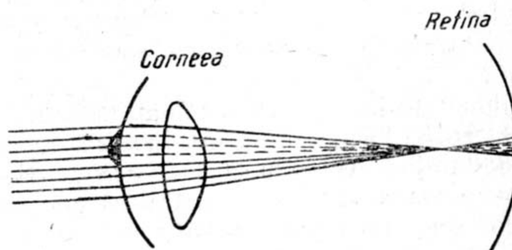


Fig. 83. Un miop fără ochelari vede o lampă îndepărtată ca un mic disc de formă neregulată; o picătură de ploaie pe cornee se proiectează ca o pată întunecoasă.

În locul vîrfului obişnuit al secerii lunare, mulţi văd cîteva vîrfuri. Aceste abateri se atribuie, de obicei, micilor deformaţii ale suprafeţei corneei (vezi, însă, § 431). Astfel de aberaţii apar şi la un miop, cînd îşi scoate ochelarii (fig. 82): pentru el orice lampă îndepărtată devine un cerc luminos, a cărui strălucire este, de altfel, foarte neuniformă. Dacă în timpul acesta ploua, veţi vedea ici-colo mici pete rotunde care apar brusc pe fondul acestor cercuri luminoase. Aceasta înseamnă că o parte din cornee este acoperită de o picătură de ploaie (fig. 83). Pata îşi păstrează forma vreo 105, cu condiţia, bineînţeles, ca în timpul acesta să nu clipiţi. Atunci cînd în depărtare strălucesc farurile orbitoare ale unui automobil, întregul cîmp vizual în jurul punctelor strălucitoare pare învăluit într-o ceaţă luminoasă granulară, brăzdată uneori de benzi radiale. Aceasta se datoreşte difracţiei sau refracţiei luminii pe neregularităţile din interiorul ochiului nostru. Lămpile de sodiu, care au forma unor tuburi lungi şi înguste, produc şi ele o aureolă difuză în jurul sursei de lumină, însă cu o haşurare fină strict paralelă cu sursa, deoarece fiecare granulă care provoacă difracţia duce, aici, la formarea unei linii şi nu a unui punct.

70. Fascicule de raze care par să pornească de la surse strălucitoare de lumină

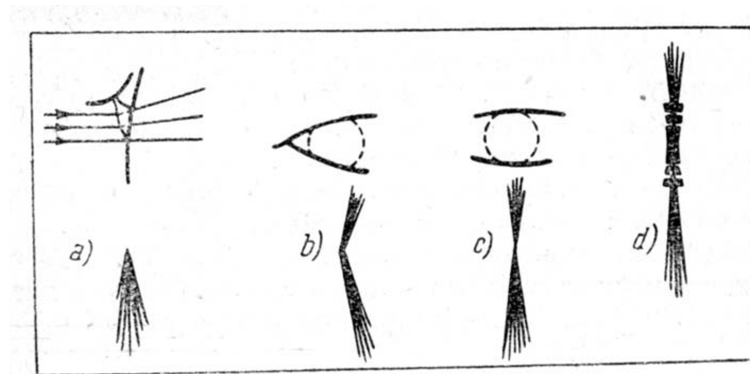


Fig. 84. Cum apar razele luminoase în jurul lămpilor îndepărtate.

Uneori se pare că lămpile îndepărtate arunca în ochi raze drepte lungi, în special atunci cînd le privim cu ochii pe jumătate închişi. De-a lungul marginilor pleoapei, lichidul lacrimal formează un mic menisc, în care se refractă razele de lumină. Aşa cum se vede pe fig. 84a, razele se refractă pe pleoapa superioară, astfel că par să vină de jos în sus, iar sursa de lumină capătă o „coadă" îndreptată în jos. Tot astfel, în dreptul pleoapei inferioare, apare o „coadă" luminoasă orientată în sus. Apariţia acestor „cozi" poate fi urmărită bine dacă, după ce am închis un ochi, acoperim încet pe al doilea sau dacă ridicăm şi lăsăm în jos capul, ţinînd ambii ochi pe jumătate închişi. Razele apar în clipa în care pleoapa începe să acopere pupila, ceea ce poate f i observat uşor de un om miop, deoarece sursa de lumină, care îi apare ca un cerc difuz, este în clipa aceasta parţial acoperită.

Razele nu sînt perfect paralele, chiar dacă privim cu un singur ochi. Uitaţi-vă drept înainte la o sursă de lumină, iar apoi întoarceţi puţin capul spre dreapta şi rotiţi privirea astfel ca sa vedeţi din nou izvorul de lumină. Acum razele sînt înclinate (fig. 84,6). Cauza constă, probabil, în aceea că marginile pleoapelor, acolo unde intersectează pupila, nu mai sînt orizontale şi fiecare fascicul de raze face un unghi drept cu marginea pleoapei. Direcţiile vizibile ale razelor sînt în concordanţă cu această explicaţie. Acum putem înţelege de ce razele nu sînt paralele dacă privim drept înainte: curbura pleoapelor se manifestă chiar şi la o lărgime redusă a pupilei (fig. 84c). Acoperiţi cu degetul marginea dreaptă a pupilei şi razele din stînga vor dispărea din fascicul, aşa cum şi trebuie să se întîmple.

În afară de „cozile" lungi există şi „cozi" scurte şi foarte strălucitoare, datorite reflexiei pe marginile pleoapelor (fig. 84,d). Putem sa ne convingem experimental că, de data aceasta, pleoapa superioară produce o „coadă" superioară scurtă şi invers. Aceste raze reflectate produc, de obicei, o imagine de difracţie transversală.

71. Fenomene produse de ochelari

Dacă privim sub un anumit unghi prin ochelari, liniile par deformate. Deformaţia ia forma unui „butoiaş" dacă lentilele sînt concave şi a unei „perne" dacă lentilele sînt convexe (fig. 85). Această defor-maţie este deosebit de supărătoare atunci cînd trebuie să determinăm dacă linia vizibilă este riguros dreaptă sau verticală. La marginile exterioare ale cîmpului apare un astigmatism atît de pronunţat, încît toate detaliile mici sînt estompate. Erorile imaginilor ies mai clar în evidenţă la lentilele cu dioptrie mare. La lentilele-menisc, aceste deformaţii sînt mai mici.

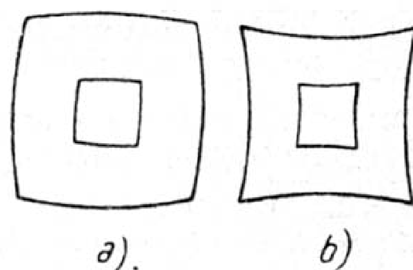


Fig. 85. Apariţia imaginii prin ochelari:
a) „butoiaş“; *b)* „pernă“.

Dacă privim seara prin ochelari o lampă aprinsă, putem observa „plutind" în apropierea ei un cerc luminos. El nu este prea net şi dacă privim timp mai îndelungat, acomodarea variază automat şi cercul creste sau se micşorează. Dacă scoatem ochelarii şi îi ținem la o oarecare distanță de ochi, cercul se transformă într-un punct luminos, care reprezintă probabil imaginea de multe ori micşorată a lămpii. Dacă privim un grup de trei lămpi, imaginea pare parcă mai accentuată. Aceasta se explică în felul următor: cercul luminos ia naştere în urma reflexiei duble pe suprafețele lentilelor sau ale corneei ochiului. În realitate, ar trebui să fie vizibile trei cercuri, însă ele pot fi distinse numai atunci cînd nu sînt prea difuze.

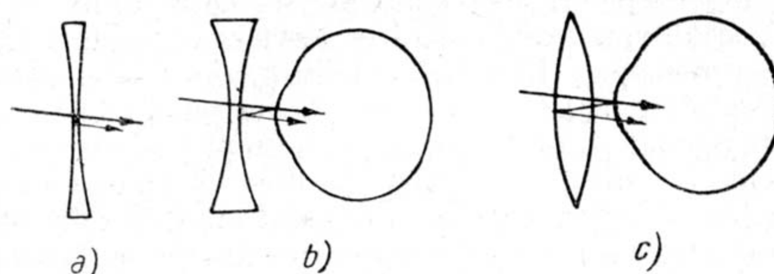


Fig. 86. Cum apare reflexia dublă dacă privim prin ochelari:
a) lentile slabe; *b)* lentile concave mai puternice de — 5 dioptrii; *c)* lentile convexe mai puternice de + 3 dioptrii.

Practic, cu ajutorul unei perechi de ochelari, se poate observa o singură reflexie dublă (fig. 86). Lentilele fără rame, ale căror margini nu sînt drepte, dau uneori de-a lungul marginii un spectru îngust, produs de lămpile îndepărtate (fig. 87).

Despre picăturile de ploaie vezi § 134

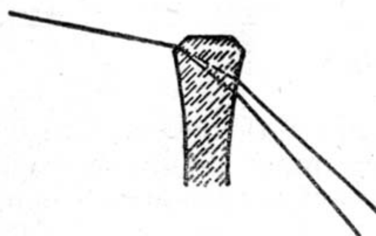


Fig. 87. Modul în care ochelarii creează un spectru.

72. Agerimea vederii

Un ochi normal distinge fără dificultăți în constelația Carului Mare stelele Mizar şi Alcor, care se află la circa 12' una de alta (fig. 71, 88). Poate fi vederea mai ageră? Un om cu o vedere ageră poate deosebi puncte care se află de două ori mai aproape unul de celălalt ca, de exemplu, steaua dublă α din

Capricornul (componentele sale, de 3,8 şi 4,5 mărimi stelare, se află la o distanţă de 6' una de alta). Puţini sînt în stare să deosebească distanţe de 4' şi 3' (fig. 89):

La steaua α din Balanţa, distanţa între componentele de 2,8 şi 5,3 mărimi stelare este de 4'.

La steaua ε a Lirei, distanţa dintre componentele de 5,3 şi 6,3 mărimi stelare este de 3'.

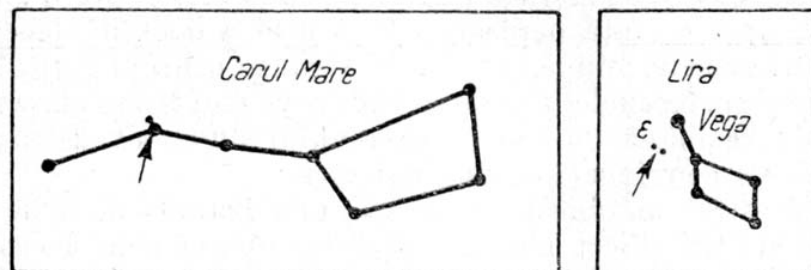


Fig. 88. Cîteva stele duble îndepărtate între ele, care pot servi la încercarea agerimii vederii.

Observatori deosebit de buni (numărul lor este foarte mic!) pot distinge pe cer senin şi într-o atmosferă liniştită un număr necrezut de mare de amănunte. Unul din ei a afirmat că vede cu ochiul liber steaua α din Balanţa ca o stea dublă (distanţa este de circa 4'), Saturn i s-a părut turtit, iar Venus sub formă de semilună; în momente favorabile, cînd o privea printr-o sticlă afumată sau un nor de fum, faptul acesta ieşea deosebit de clar în evidenţă. În amurg, cînd încep să apară stele de mărimea l şi a 2-a, el a reuşit să vadă chiar doi sateliţi ai lui Jupiter.

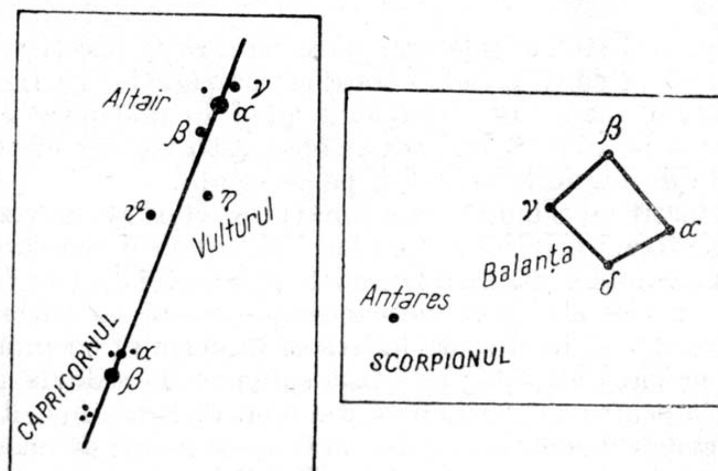


Fig. 89. Alte stele duble.

Amurgul este vremea cea mai potrivită şi pentru alte observaţii. De exemplu, amănuntele reliefului lunar se văd atunci mult mai clar decît noaptea, cînd Luna orbeşte mai puternic pe observator.

Este interesant de a încerca să privim secera lunară imediat după Lună nouă. Practic, aceasta este posibil după 24 de ore de la Luna nouă, deşi unii au observat secera după 11 ore. Este important, desigur, de a şti încotro trebuie privit.

Uitaţi-vă la faţa unei cunoştinţe care se îndreaptă spre dumneavoastră de la distanţă. La început veţi vedea o „pată albă", apoi o „faţă oarecare", fără însă a deosebi deocamdată trăsăturile; după aceea veţi distinge ochii şi gura, însă buzele şi sprîncenele încă nu se văd; ceva mai tîrziu observaţi că faţa seamănă cu cea a prietenului dumneavoastră; în sfîrşit, vă convingeţi că este chiar el.

Tot astfel, un obiect care se află la o distanţă mare de noi diferă de un obiect mai apropiat nu numai prin aceea că ne pare mai mic, dar se şi schimbă într-un mod specific. Şi peste tot el prezintă detalii pe care ochiul nostru le distinge neclar, dar după care ghicim structura şi caracterul obiectului.

73. Sensibilitatea privirii directe şi laterale

Care sînt stelele cele mai slabe pe care le puteţi vedea? Uitaţi-vă la cupa Carului Mare şi comparaţi-o cu fig. 71. Majoritatea oamenilor văd stele pînă la mărimea a 6-a, unii pînă la a 7-a. Toate

aceste observații trebuie efectuate departe de luminile orașului, pe cer senin.

Să încercăm acum să determinăm care stele rămîn vizibile dacă ne fixăm privirea asupra lor. Este nevoie de un oarecare efort de voință pentru a nu ne abate privirea și a o ține fixată asupra unei stele. Spre surprinderea noastră vom constata că orice stea slabă dispare îndată ce începem să ne uităm la ea cu privirea ațintită; este însă suficient de a devia puțin privirea pentru ca ea să apară din nou. Pentru mine, dispar chiar stelele de mărimea a 4-a, în timp ce stelele de mărimea a 3-a rămîn vizibile (vezi fig. 71, 72). Prin urmare, pragurile de sensibilitate pentru pata galbenă și retina înconjurătoare diferă cu 3 mărimi întregi, ceea ce corespunde la o diferență de 16 ori în intensitatea luminii. Această deosebire de sensibilitate este atribuită faptului că partea centrală a petei galbene constă aproape în întregime din celule microscopice de forma unor mici conuri, iar retina înconjurătoare constă din mici bastonașe, mult mai sensibile. Chiar și observatorii experimentați vor fi uimiți de acest efect, într-atît ne-am obișnuit să ne abatem involuntar privirea de la stea pentru a o vedea mai bine.

Recent, acestui fenomen i s-a dat o altă explicație[1]. Sensibilitatea aparent mai mare a periferiei retinei a fost atribuită unor slabe și continue mișcări pe care ochiul le efectuează cînd privirea nu este îndreptată direct asupra izvorului de lumină: imaginea trece atunci peste o serie de celule vecine și excitațiile se întăresc reciproc. Dacă privirea ar fi fixată, sensibilitatea centrală și periferică ar fi aproape identică.

E interesant de urmărit cum se adaptează ochiul nostru la întuneric. Cînd ieșim dintr-o cameră bine iluminată și ajungem în întunericul nopții, pupila se mărește treptat și atinge diametrul maxim în aproximativ un minut, începînd din acest moment vedem stelele de mărimea a 3-a sau a 4-a (dacă ne fixăm cu atenție privirea asupra lor). La periferia retinei însă, percepem, stele din ce în ce mai slabe, pînă ce, după o jumătate de oră, atingem din nou limita. De aici rezultă că bastonașele se adaptează la întuneric spre deosebire de conuri care rămîn nemodificate[2]. În cazul unor cîmpuri luminoase întinse, procesul se desfășoară altfel.

Merită să încercați sa urmăriți în zori o stea sau o planetă strălucitoare (de exemplu Venus). Pe măsură ce crește luminozitatea cerului, punctul luminos se distinge tot mai greu; cel mai interesant este că adeseori el scapă vederii noastre numai pentru că nu privim în direcția bună: cău-tînd-o din nou, steaua devine iar clar vizibilă. Putem efectua aceeași experiență urmărind cu privirea pe cer o ciocîrlie care cîntă.

Dacă privim atent, reușim adeseori sa urmărim planeta Venus pînă în zori și apoi s-o vedem toată ziua. Cîteodată această experiență reușește și cu Jupiter, deși acest lucru este mult mai greu; numai în cazuri excepționale îl putem urmări pînă în momentul cînd Soarele ajunge la 10° înălțime. Marte poate fi văzut numai atunci cînd Soarele este aproape de orizont. Timpul cel mai potrivit pentru efectuarea acestor observații este acela cînd planeta se află aproape de Lună, care servește ca un reper foarte bun pentru găsirea pe cer a punctelor luminoase slabe. Nu contrazic, oare, aceste observații concluzia despre sensibilitatea relativ redusă a petei galbene, la care am ajuns pe baza experiențelor cu stelele? Nicidecum. Bastonașele intră în acțiuni numai la o lumină foarte slabă, astfel că în timpul zile sînt inactive. Ziua este mai sensibilă porțiunea central; a petei galbene, iar noaptea — părțile ei exterioare.

74. Experiența lui Fechner

Să ne alegem într-o zi cu nori ușor luminoși un nor abia perceptibil pe fondul cerului. Dacă ținem în fața ochilor o sticlă afumată sau o placă fotografică expusă uniform, norul respectiv va fi, ca și înainte, abia observabil.

Aceasta l-a dus pe Fechner la concluzia că ochiul poate distinge două străluciri dacă raportul dintre ele (nu diferența!) nu este mai mic decît o anumită valoare constantă (o strălucire este mai mare decît cealaltă cu circa 5%). Să repetăm experiența cu o sticlă foarte întunecată: norul nu se mai vede și toate nuanțele fine de lumină dispar. Aceasta arată că raportul a două străluciri abia diferen-țiabile nu este absolut constant.

Concluziile lui Fechner sînt sprijinite de faptul că stelele nu pot fi văzute la lumina zilei. Diferența dintre strălucirile stelei și ale mediului înconjurător este mereu una și aceeași, însă raportul acestor străluciri este departe de a fi același în timpul zilei și al nopții. Se poate afirma că, de obicei, impresiile noastre vizuale sînt determinate mai curînd de raportul strălucirilor. În viața obișnuită, această particularitate a vederii noastre este deosebit de importantă: datorită ei, obiectele care ne înconjură pot fi percepute chiar și în condiții de iluminare variabilă.

[1] Arden and Weale, „J. of Physiology", 125, 417, 1954.
[2] G. Patfoort, „Arm. d'Optique oculaire", 2, 39, 1953.

75. Peisajul la lumina Lunii[1]

Dacă legea lui Fechner ar acţiona cu precizie absolută şi ochiul ar putea percepe numai raporturi de intensităţi, imaginea pe care ne-o formăm despre un peisaj nu ar depinde de faptul dacă privim peisajul la lumina Lunii sau la lumina zilei. La lumina Lunii, intensitatea luminii este de mii de ori mai mica, însă obiectele sînt iluminate în acelaşi mod, iar sursa de lumină are practic aceeaşi formă şi se află în aceeaşi poziţie.

De aici reiese că legea lui Fechner îşi pierde valabilitatea cînd strălucirile sînt foarte slabe. Observînd un peisaj, într-o noapte cu lună, acordaţi atenţie deosebirilor dintre iluminarea de zi şi de noapte. Lucrul cel mai caracteristic constă în aceea că toate regiunile care nu sînt iluminate complet de Lună sînt aproape uniform de întunecate, în timp ce ziua strălucirea acestor regiuni diferă apreciabil. Prin aceasta se explică de ce fotografia unui peisaj iluminat de Soare, făcută după un negativ subexpus, aminteste de un peisaj la lumina Lunii. Tot astfel, pictorii, cînd pictează un peisaj nocturn, reprezintă aproape totul uniform de întunecat şi datorită atenuării contrastelor, avem, în mod inconştient, impresia că iluminarea trebuie să fie foarte slabă (vezi, de asemenea, § 77).

76. Peisajul la lumina strălucitoare a Soarelui[2]

Într-o zi de vară, pe ţărmul mării, strălucirea este atît de puternică, încît aproape ne orbeşte. Şi aici rapoartele par mai mici decît la iluminarea obişnuită, pentru că totul apare uniform de strălucitor în lumina razelor solare. Şi acest efect este folosit adeseori de pictori.

77. Valoarea de prag a rapoartelor de strălucire

Geamurile reflectă lumina solară şi aruncă pete de lumină pe caldarîm (§8). Dacă Soarele iluminează şi caldarîmul, aceste pete pot fi văzute cu greu, deoarece suprafaţa caldarîmului nu este netedă. Pata luminoasa devine vizibilă îndată ce se mişcă puţin geamul sau cînd propria noastră umbră alunecă deasupra acestei pete. (Nu este oare remarcabilă această particularitate psihologică? Ochiul nostru este capabil sa observe fenomenele slabe, dacă ele se mişcă). Un geam reflectă 4% pe fiecare din suprafeţele sale, adică în total 8%, şi chiar ceva mai mult dacă razele cad oblic (§ 60). De aceea, în condiţii obişnuite şi fără a folosi mijloace speciale, o creştere a strălucirii cu 10% reprezintă o valoare de prag pentru ochiul nostru.

Cînd privim o băltoacă mică situată în faţa unui zid iluminat de Soare, ne aşteptăm să vedem pe zid pata luminii reflectate. Deşi jocul benzilor de lumină se poate urmări pe zid cînd oglinda apei este încreţită de vînt, pata însăşi este greu de observat cînd suprafaţa zidului nu este deosebit de netedă. Astfel, o creştere a strălucirii cu 3% poate fi observată numai în condiţii foarte favorabile (§ 96)

Staţi noaptea între două lămpi, atît de aproape de una din ele încît să dispară umbra aruncată de cealaltă. Determinînd distanţele la cele două lămpi, putem obţine raportul iluminărilor şi să măsurăm astfel diferenţa de strălucire (în procente) necesară pentru ca umbra să devină neobservabilă (§59).

78. Obiectele albe noaptea

În timpul plimbărilor de noapte, cînd privim obiectele de culoare deschisă ale peisajului din jur, cum ar fi o şosea acoperită cu pietriş, zăpada, spuma valurilor care se izbesc de ţărm, impresia specifică vizuală pe care o avem este puţin neobişnuită. Ele ne apar deosebit de strălucitoare, de multe ori mai strălucitoare decît în lumina difuză a zilei. Uneori ni se pare că ele emit lumină. Aşa s-a format părerea despre „fosforescenţa" grindinei şi zăpezii (§ 101, 254, 261). Aici joacă un rol important sensibilitatea bastonaşelor retinei faţă de contraste.

79. Acţiunea voalului

Pornim ziua la plimbare. De ce oare perdelele transparente de muselină ne împiedică să vedem ce se întîmplă în interiorul caselor? Aceste perdele, asemănătoare cu nişte voaluri, sînt puternic iluminate dinafară şi dacă obiectele care se află în cameră au numai o mică fracţiune din această strălucire, ele adaugă prea puţin la strălucirea uniformă a voalului pentru ca să poată fi observate. Aceasta este o aplicaţie a legii lui Fechner (§74).

Noaptea, cînd în cameră este aprinsă lumina, se vede bine prin perdea. Partea dinspre noi a

---

[1] H. Helmholtz, Optisches uber Malerei (Populare Wiss. Vorträge) 1871-1873.
[2] H. Helmholtz, op. cit.

perdelei este practic neiluminată şi măreşte numai cu puţin iluminarea datorită obiectelor care se află în cameră şi care au o strălucire diferită.

Pentru cine priveşte din camera afară, efectul este, în ambele cazuri, contrar. Acelaşi fenomen îl întîlnim atunci rînd un avion, clar vizibil la lumina Lunii, dispare brusc îndată ce încep să lumineze reflectoarele. Aerul aflat între ochiul nostru şi avion, fiind iluminat de razele orbitoare, ne împiedică să observăm contrastele de lumină slabe.

l 80. Geamurile colorate

Poeziile sînt ferestre colorate!
Dacă te uiţi în biserică de-afară
E totul tulbure şi întunecos...
Dar poftiţi, mă rog, înlăuntru o dată,
Şi salutaţi capela sfînta.
Lumina în toate se împlîntă,
Podoabele strălucind va încîntă
Şi orice rază-i fermecată...
(Goethe, Parabole)

Acest fenomen ne atrage imediat atenţia. Chiar şi geamurile vopsite în culori foarte vii îşi pierd strălucirea dacă le privim dinafară bisericii. Tocmai aceste geamuri difuzează lumina (ca şi perdelele), deoarece de obicei ele sînt acoperite de praf şi au multe asperităţi şi neregularităţi. Lumina strălucitoare care cade asupra lor dinafară este în mare măsură reflectată înapoi şi le dă o nuanţă generală cenuşie, pe care razele foarte slabe, reflectate de obiectele din interior, aproape că nu sînt observate.

81. Stelele în amurg şi la lumina Lunii[1]

„Stingerea" stelelor în lumina zilei constituie de asemenea un efect de „voal". Seara putem observa cum apar pe cer stelele, la început cele mai strălucitoare, apoi treptat cele mai puţin strălucitoare şi, în sfîrşit, începe noaptea în toată splendoarea ei. Este foarte interesant de urmărit toate aceste faze de trecere.

Pe de o parte cunoaştem strălucirea stelelor şi avem calculul intensităţii luminoase (§ 53), iar pe de altă parte ştim cum variază strălucirea cerului în funcţie de coborîrea Soarelui sub orizont (§ 59).

Să ne îndreptam privirile asupra unei porţiuni de cer, de exemplu aceea din jurul Stelei polare, şi să urmărim apariţia primelor stele, după care putem determina începutul amurgului.

La început avem „faza de incertitudine"; putem vedea o stea oarecare, însă e suficient să ne întoarcem privirea pentru ca să nu mai putem regăsi micul punct. Această faza durează aproximativ cinci minute, după care steaua devine mai strălucitoare şi nu mai dispare.

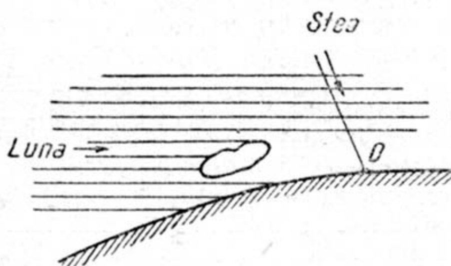


Fig. 90. Norul din faţa Lunii nu este suficient pentru ca observatorul *O* să vadă stelele.

Să notăm momentele de apariţie şi denumirile acestor prime stele. Operaţia nu este simplă, însă după cîteva seri de observaţii ne obişnuim cu tabloul bolţii cereşti şi izbutim să recunoaştem fără greş stelele principale. Observaţiile se efectuează mai uşor în zori, deoarece atunci stelele pot fi văzute mai clar şi se poate stabili cu mai multă uşurinţă care dintre ele dispare treptat din cîmpul nostru vizual. Efectuînd astfel de observaţii la diferite faze ale Lunii, putem studia strălucirea cerului la iluminarea

[1] P. Parenago, „Astron. Jurn.", 7, 203, 1930 (l.rusă); Smosarski, „Ann. Inst. Phys. du Globe", Paris, 22, 70, 1945.

Lunii. Vom vedea că, în timpul Lunii pline, limita stelelor clar vizibile se deplasează aproximativ cu două mărimi stelare.

Observațiile asupra stelelor abia vizibile permit trasarea unui grafic care arată cum este distribuită luminozitatea pe cer în apropierea Lunii.

Aproape de Luna cea minunată,
Stelele-şi pierd uimitoarea lucire
De cum Luna plină și-nalță argintul
Scînteietoarea!
(Sappho.)

Unui copil i se pare că este suficient ca un nor să acopere Luna pentru ca stelele să devină din nou vizibile. De ce nu se întîmplă acest lucru? (fig. 90).

82. Vizibilitatea stelelor ziuă

Ziua cerul este şi mai intens iluminat şi stelele sînt complet invizibile. Mai mult chiar, ochiul nostru s-a obişnuit deja cu lumina strălucitoare a zilei şi a devenit de o mie de ori mai puțin sensibil față de ea.

Încă pe timpul lui Aristotel se povestea că, dacă se priveşte dintr-un puț adînc, dintr-o mină sau dintr-un coş înalt, atmosfera pare mai întunecată ca de obicei şi se pot observa stelele cele mai strălucitoare. Despre acest fenomen ciudat au scris mulți scriitori; este adevărat însă că se bazau mai mult pe amintirile şi povestirile altora.

În zilele noastre nu există nici măcar un singur loc unde să se poată observa şi studia acest fenomen în condiții normale. Cine vrea poate încerca să facă aceasta cu ajutorul unui cilindru lung de l m şi cu diametrul de 5 cm. S-ar putea crede că acest cilindru slăbeşte lumina care vine din exterior şi care orbeşte ochiul. Aceasta însă nu este prea important, deoarece cîmpul vizual din fața noastră rămîne iluminat, ceea ce este hotărîtor.

Şi mai neverosimilă este legenda că ziua se pot vedea stelele reflectate într-un lac întunecat dintr-o regiune muntoasă. „Observatorii" acestui fenomen, care afirmă că imaginea cerului era foarte întunecată, au uitat pur şi simplu că datorită reflexiei lumina stelelor scade în aceeaşi proporție.

„Spre zori s-a făcut mai întuneric, pentru că stelele s-au stins, iar zorile care răsăreau încă nu puteau înlocui această pierdere de lumină".
(Walter Scott, Waverley)

83. Iradiația

Cînd Soarele apune, ni se pare că în locul respectiv linia orizontului se lasă în jos (fig. 91).

Cînd după Luna nouă apare secera lunară, iar restul discului străluceşte slab cu o lumină cenuşie, sîntem uimiți de faptul că conturul semilunii apare ca o parte dintr-un cerc cu raza mai mare decît circumferința discului cenuşiu (fig. 91). După evaluarea lui Tycho Brahe, raportul diametrelor celor două cercuri este de 6/5.

Tot astfel hainele întunecate ne fac să arătăm mai slabi decît în hainele albe.

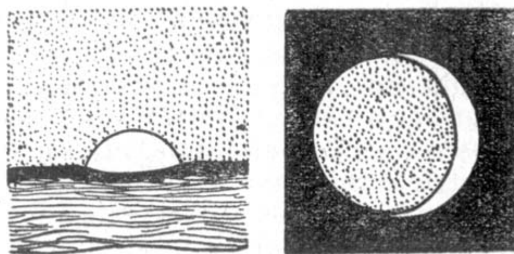


Fig. 91. Exemple de iradiație: Soarele apunînd și secera Lunii noi.

Leonardo da Vinci aminteşte în scrierile sale despre acest fenomen: „... cînd Soarele poate fi văzut în spatele unor copaci fără frunze, toate ramurile lor, care se află în fața corpului solar, se micşorează într-atîta încît devin invizibile; acelaşi lucru se întîmplă şi cu un băț, aşezat între ochi şi corpul solar... Am văzut o femeie, îmbrăcată în negru, cu o broboadă albă pe cap, ce părea de două ori mai mare decît lățimea umerilor ei, care erau îmbrăcați în negru... Dacă privim de la o distanță mare

crenelurile unei cetăţi, ce sînt separate între ele prin intervale de lăţime egală cu cea a crenelurilor, intervalele par mult mai mari decît crenelurile..."

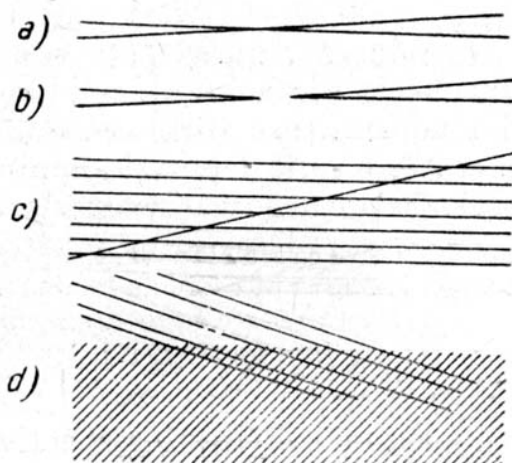


Fig. 92. Exemple de iradiaţie la observarea firelor de telegraf.

Deseori se poate vedea (trebuie numai să găsim direcţia potrivită de observaţie) cum două fire de telegraf se intersectează sub un unghi foarte mic (fig. 92a). Este interesant de remarcat că sub influenţa liniei duble de fire întunecate din dreapta şi stînga, punctul de intersecţie dispare în lumina strălucitoare din jur. Dacă firele se leagănă puţin din cauza vîntului, lumina albă se deplasează de-a lungul lor, înainte şi înapoi (fig. 92,6). Dacă, dimpotrivă, fondul este format din linii paralele întunecate, de exemplu acoperişuri de ţiglă sau ziduri de cărămidă, se formează o imagine complet diferită: firele par ciudat de îngroşate şi frînte în locurile în care ele intersectează fiecare din liniile întunecate. Acest efect se observă şi în cazul cînd firele se suprapun peste conturul net al unei clădiri (fig. 92c şi d), cu alte cuvinte, oriunde o imagine dreaptă a vreunui obiect masiv taie liniile paralele.

Cauza tuturor acestor abateri consta în aceea că imaginea care se formează în ochiul nostru este deformată din cauza difracţiei şi reproducerii imperfecte. Noi delimităm în imaginaţie porţiunile a căror strălucire variază cel mai rapid şi, atunci cînd marginea se şterge din cauza difracţiei, aceste limite încetează sa coincidă cu liniile geometrice reale. În cazul unor pete luminoase pe un fond întunecat, limita se deplasează în mod sistematic înspre exterior, şi această deplasare este cunoscută sub numele de „iradiaţie". Am dat mai sus diferite exemple de iradiaţie.

84. Acţiunea orbitoare a luminii

Atunci cînd intensitatea luminii este foarte mare, lumina ne „orbeşte". Prin aceasta noi înţelegem două lucruri: a) apariţia în cîmpul vizual a unei surse intense de lumină, datorită căreia nu mai putem observa cum trebuie o parte din acest cîmp ; b) o senzaţie de durere sau ameţeală.

Un exemplu de acţiune orbitoare în primul sens îl constituie acţiunea farurilor unui automobil care se îndreaptă spre noi. Nu mai deosebim copacii de-a lungul şoselei şi nu lipseşte mult ca să ne lovim de ei. Privind mai atent, observăm că totul este acoperit de o ceaţă luminoasă, mult mai intensă decît contururile neclare ale copacilor şi ale altor obiecte vizibile noaptea. Această ceaţă care cuprinde totul este determinată de difuzia razelor în mediul refractant al ochiului care este totdeauna suficient de granulos şi neomogen. Se pare chiar că lumina orbitoare pătrunde în ochi nu numai prin pupilă, ci parţial şi prin cornee[1].

A doua senzaţie, produsă de acţiunea orbitoare a luminii, apare deosebit de evidentă, dacă privim cerul la amiază. Căutăm să ne adăpostim la umbră pentru a nu privi direct spre Soare. Cu cît privirea noastră este mai aproape de acest corp ceresc, cu atît mai supărătoare este lumina lui puternică şi dacă mai există şi nori albi, strălucirea poate fi cu greu suportată. Este interesant cît de diferită este sensibilitatea oamenilor în privinţa acestei senzaţii de durere.

---

[1] Vezi G. A. Fry şi M. Alpern, „J. Optic. Soc. Amer.", 48, 189. 1953.

VII. Culorile

„Tot ce e viu aspiră spre culoare"
(Goethe, Farbenlehre)

În timpul observațiilor descriem de nenumărate ori culorile fenomenelor naturii. În majoritatea cazurilor folosim pentru denumirea culorilor termeni ca roşu, portocaliu, galben etc., iar pe măsura necesităților adăugăm: saturat, nesaturat, palid. Cu ajutorul acestor adjective caracterizăm culorile cu toate nuanțele lor. Cînd vorbim despre strălucirea unei culori (întunecată sau luminoasă), avem în vedere densitatea ei, care nu modifică nuanța.

85. Amestecul de culori

Privind prin geamul unui vagon de cale ferată, putem vedea nu numai priveliştea care se deschide în fața noastră, dar şi imaginea slabă a peisajului care se perinda în fața geamului opus. Aceste două imagini se suprapun, ceea ce provoacă un amestec al culorilor. Reflexia cerului albastru face ca verdele cîmpiilor să apară verde-albastru, iar lumina combinată devine mai palidă şi mai puțin saturată, ceea ce este caracteristic, în general, pentru amestecul de culori.

Geamurile vitrinelor din magazine se fac adeseori fără rame şi, de aceea, dintr-un punct O putem vedea prin geam partea interioară a pervazului A şi, în acelaşi timp, reflexia părții sale exterioare B (fig. 93). Dacă A şi B sînt colorate diferit, avem un exemplu minunat de culori amestecate şi o dată cu deplasarea ochiului în sus-şi în jos, culoarea combinată se va apropia de culoarea pervazului A sau de aceea a pervazului B.

Aceasta demonstrează totodată că geamul reflectă mai multă lumină la unghiuri de incidență mai mari.

Natura amestecă şi într-un alt mod culorile pentru noi. Din depărtare, florile de pe o pajişte au o singură nuanță; păpădiile pot dă, pe iarba verde, un amestec de galben-verde. Merii şi perii care înfloresc, un alb-murdar (chiar alb-murdar!); acest amestec de culori apare de la petalele albe şi roz, frunzele verzi, staminele roşii la peri şi galbene la meri etc....

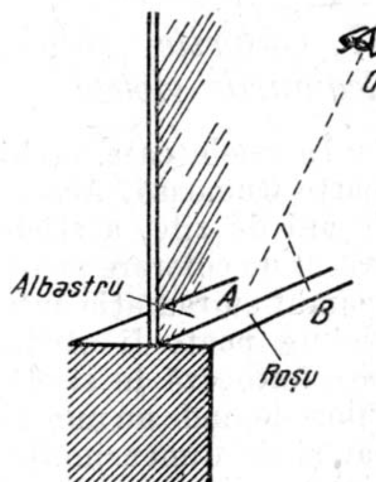


Fig. 93. Amestecul de culori observat în vitrina unui magazin.

Vilele moderne sînt adeseori acoperite cu țigle de diferite culori, însă, din depărtare, vedem o singură culoare, neputînd să deosebim diferitele componente. Fizicienii explică acest amestec de culori prin aceea ca în ochiul nostru imaginea fiecărui punct luminos are dimensiuni finite (vezi şi § 69) şi petele de culori diferite se suprapun. Pictorii pointilişti[1] s-au folosit de acest fapt fiziologic.

---

[1] Pictorii aparținînd şcolii pointiliste redau culorile prin mici tuşe separate în formă de puncte. Tehnica pointilistă a fost folosită în special de pictorii impresionisxti de la sfîrşitul secolului al XIX-lea şi începutul secolului XX. — N.R.

86. Reflexiile şi jocul de culori

În cartea sa despre pictură, Leonardo da Vinci serie: „Dacă vei picta un obiect alb înconjurat de o mare cantitate de aer, fii atent la culorile obiectelor care stau în fața ta, pentru că albul în sine nu are nici o culoare, însă se colorează parțial şi trece în culoarea care este în fața sa. Dacă vei vedea, într-un loc deschis, o femeie îmbrăcată în alb, partea care este îndreptată spre Soare va avea o culoare atît de luminoasă, încît privirea ei îți va produce chiar o oarecare durere; e ca şi cum ai privi însuşi Soarele. Iar acea parte a ei care este îndreptată înspre aerul iluminat de razele solare, care pătrund în el şi se împletesc cu el, va bate în albastru, datorită faptului că aerul, în sine, este albastru. Dacă însă în apropiere se va găsi o pajişte, iar femeia se va afla între pajiştea iluminată de Soare şi însuşi Soarele, vei vedea că acele părți ale îmbrăcămintei care pot fi văzute dinspre pajişte vor fi colorate de razele ce reflectă culoarea acestei pajişti".

87. Culorile soluțiilor coloidale ale metalelor. Geamurile violete

În unele case vechi, geamurile au o strălucire violetă foarte frumoasă. Aceasta se datoreşte iradierii îndelungate, de ani de zile, a sticlei de către Soare. În prezent, acest proces de colorare poate fi realizat mult mai repede iradiind geamul cu radiația intensă a unei lămpi de cuarț. Culoarea violetă poate fi atribuită cantităților infime de mangan care formează în sticlă o soluție coloidală. Nuanța acestei culori depinde nu numai de proprietățile optice ale metalului, dar şi de dimensiunile particulelor. La încălzire, culoarea violetă dispare.

După mărturiile lui Faraday, pe vremea lui, sticla căpăta o culoare intens violetă după ce era expusă luminii solare timp de şase luni. Această colorare se produce cel mai repede în regiunile de munte.

88. Culoarea tuburilor cu descărcare luminescentă; absorbția luminii în gaze

Luminile numeroaselor reclame colorate, care dau noaptea oraşelor un aspect fantastic, provin de la tuburi de sticlă umplute cu un gaz foarte rarefiat în care se produc descărcări electrice. Culoarea portocalie se obține de la tuburile cu neon, cea albastră, respectiv verde, de la cele umplute cu vapori de mercur şi făcute din sticlă albastră, respectiv verde, pentru a slabi cealaltă componentă a culorii mercurului; în sfîrşit, culoarea galbenă se obține de la tuburile din sticlă galbenă umplute cu heliu.

Interesant este cum se modifică culoarea descărcării în tuburile drepte albastre. Dacă privim de-a lungul axei tubului, stînd aproape de el, culoarea va fi albastră-violetă; dacă privim însă perpendicular, ea va fi mai curînd albastră-verde. Aceasta se explică prin faptul că lumina emisă de mercur care trece prin sticla tubului este compusă, în special, din trei radiații — violetă, albastră şi verde, prima fiind cea mai slabă. Emisiunea lor simultană, printr-un strat subțire de gaz, dă ochiului nostru o senzație de albastru-verde. Dacă privim însă printr-un strat foarte gros de gaz, de exemplu de-a lungul tubului, lumina de la capătul îndepărtat trebuie să parcurgă un drum lung prin vaporii de mercur, înainte de a ajunge în ochiul nostru. Pe acest drum, lumina verde este absorbită mult mai puternic decît cea albastră, astfel că raportul dintre radiații se modifică simțitor şi, în mod corespunzător, se schimbă şi culoarea.

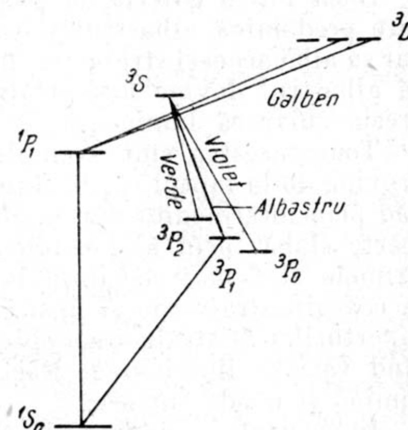


Fig. 94. Tranziţiile electronice într-un atom de mercur, care determină spectrul său vizibil.

Liniile verzi, albastre şi violete ale mercurului formează împreună un triplet care apare în urma tranziţiilor dintre nivelele ^3P şi ^3S (fig. 94). Liniile verzi şi violete se formează, urma tranziţiilor pe nivelele metastabile $^3P_2$ şi $^3P_0$ de pe care electronul nu mai poate sări uşor pe nivelele energetice mai joase. De aceea, numărul de atomi care au electroni pe aceste nivele este anormal de mare şi absorbţia este foarte intensă.

Din aceleaşi motive, dacă privim de-a lungul unor tuburi verzi, ele capătă o nuanţă gălbuie. Şi aici sînt deosebit de intense două radiaţii, şi anume: liniile verzi şi galbene ale mercurului. Din nou observaţiile noastre confirmă că din această pereche radiaţia verde este mai intens absorbită.

89. Efectul lui Purkinje. Conurile şi bastonaşele

Leonardo da Vinci a observat că „verdele şi albastrul îşi intensifică culoarea în semiumbră, iar roşul şi galbenul cîştigă în culoare în regiunile iluminate, şi acelaşi lucru se întîmplă cu culoarea albă".

Remarcaţi ziua contrastul dintre roşul aprins al muşcatei de la bordura gazonului şi fondul de frunze verzi întunecate.

În amurg şi seara tîrziu, acest contrast este complet inversat: florile par acum mult mai întunecate decît frunzele. Se poate să vă mire comparaţia dintre strălucirea culorii roşii şi cea a celei verzi, totuşi deosebirile sînt aici atît de evidente, încît nu este posibilă nici o îndoială.

Dacă într-o galerie de pictură sînt expuse tablouri în care predomină albastrul şi roşul, acestea la lumina zilei par să aibă aceeaşi strălucire, în amurg însă se poate observa că albastrul devine mai strălucitor într-atît, încît ai impresia chiar că luminează.

Toate acestea sînt exemple ale efectului Purkinje care provine de la faptul că, la iluminarea normală, ochii noştri văd prin intermediul aşa-numitelor „conuri", iar la lumină foarte slabă, prin alte celule ale retinei — „bastonaşele". Primele sînt mai sensibile la culoarea galbenă, celelalte la cea albastră-verde şi prin aceasta se explică modificarea raporturilor de strălucire a obiectelor diferit colorate, atunci cînd variază iluminarea. Bastonaşele ne dau impresia de lumină şi nu de culoare.

Îndepărtaţi-vă de luminile oraşului. La început, noaptea vi se pare foarte întunecată; după cîtva timp, cînd ochii vi se obişnuiesc cu întunericul (intră în funcţiune bastonaşele), începeţi să distingeţi împrejurimile. Priviţi o hîrtie intens colorată — ea vi se pare incoloră. O foaie de hîrtie roşie vi se pare neagră, iar una albastră sau violetă pare albă-cenuşie. Aţi devenit insensibil la culoare!

În timpul acesta, pe cer apar mii de stele strălucitoare. Dacă le privim fix, majoritatea lor dispar şi rămîn numai cele mai strălucitoare, care ne apar ca nişte mici puncte luminoase (§ 73). Aceste observaţii se pot face cel mai bine în timpul nopţilor întunecoase, dar şi la lumina Lunii peisajul devine pentru noi, dacă ne putem exprima astfel, „un peisaj de bastonaşe".

90. Culoarea unor surse de lumină foarte strălucitoare se apropie de alb

În oraşe sau sate putem observa adeseori cum se reflectă în apa canalelor diferite surse de lumină, formînd benzi luminoase (§ 17). Este uimitor cu cîtă uşurinţă se sesizează acum deosebirile în culoare dintre felinarele cu gaz şi cele electrice, în timp ce privite direct ele arată aproape la fel de albe. Deosebirile de culoare devin, de asemenea, mai evidente, atunci cînd felinarele sînt privite prin ceaţă

sau printr-un geam aburit. Dacă însă lumina este concentrată într-un singur punct foarte strălucitor, datorită proprietăţii curioase a ochiului nostru, culoarea sursei se apropie de alb.

91. Impresia produsă de un peisaj privit prin sticle colorate

În lucrarea sa, Teoria culorilor, Goethe spune că galbenul „bucură ochiul, face să-ţi crească inima, îţi înviorează spiritul şi simţi de îndată căldură". Multora le vine să rîdă cînd se uită printr-o sticlă galbenă. Culoarea albastră „prezintă totul într-o lumină mohorîtă". Roşul „dă peisajului un aspect înfricoşător". Verdele arată foarte nenatural, înainte de toate pentru că cerul este foarte rar verde. Vaughan Cornish a încercat să împartă culorile din natură în cele care dau senzaţia de „cald" şi cele care dau senzaţia de „rece". El a găsit că roşul, portocaliul, galbenul şi galben-verdele aparţin primei categorii, iar albastru-verdele, albastrul şi violetul celei de-a doua[1].

92. Observarea culorii cu capul aplecat

Pictorii ştiu de mult timp că un peisaj pare mai viu şi mai bogat în culori dacă, întorcîndu-ne la el cu spatele, ne aplecăm şi-l privim printre picioarele desfăcute. Se bănuieşte că senzaţia mai ascuţită de culoare este legată de valul de sînge din cap.

Eu obţin efectul respectiv, aplecînd corpul într-o parte şi ţinînd capul orizontal. Din această poziţie se poate vedea foarte bine umbra Pămîntului (§ 213).

Vaughan Comish afirmă că acelaşi efect poate fi obţinut stînd culcat pe o parte. El atribuie aceasta faptului că supra-aprecierea cunoscută a distanţelor verticale este neutralizată (§ 125) şi nuanţele trec într-un mod mai accentuat una într-alta. Rămîne de clarificat dacă această explicaţie este valabilă şi pentru efectul mult mai puternic care apare atunci cînd privim un peisaj din poziţie aplecată.

---

[1] În legătură cu percepţia psihologică a culorilor şi nuanţelor naturale vezi V. Cornish, Scenery and the Sense of Light (Cambridge, 1935); Kandinski, uber des geistige in der Kunst (Munchen, 1933); B. J. Konwer, Colours and their Character (Hag, 1949).

VIII. Imaginile consecutive şi fenomenele de contrast

93. Durata senzaţiilor luminoase

Călătorim cu trenul şi pe lîngă noi trece un alt tren. Cîteva secunde vedem peisajul prin geamurile acestui tren şi îl vedem, foarte bine aproape fără clipiri, doar cu o uşoară micşorare a strălucirii.

Viteza de mişcare a trenului este de aproximativ 17 m/s, deci viteza relativă a celor două trenuri care merg în direcţii opuse este de 34 m/s.

Să presupunem că ferestrele coincid după intervale de aproximativ un metru. Imaginile se întrerup sistematic timp de 0,03 s, ceea ce practic noi nu observăm, astfel încît impresia luminoasă se păstrează. Stînd pe peron, putem privi prin geamurile unui tren care trece în viteză sau să vedem peisajul reflectat în aceste geamuri. Dacă privim drept înainte, imaginea va fi văzută fără clipiri. În acest caz durata senzaţiei vizuale este de 0,06 s.

Să încercăm să stabilim cît de des trebuie să alterneze imaginile întunecate şi luminoase pentru ca să dispară clipirea. În acest scop să mergem de-a lungul unui gard înalt şi lung, iuţind paşii, astfel încît iluminarea să pară constantă şi străduindu-ne în acelaşi timp să privim prin gard mereu în aceeaşi direcţie.

Viteza la care dispare clipirea depinde de raportul strălucirilor imaginii întunecate şi luminoase, precum şi de raportul dintre durata de iluminare şi durata de umbrire. Desigur, în realitate, senzaţia luminoasă nu dispare brusc, ci slăbeşte treptat. Procesul continuu de intensificare şi slăbire a senzaţiilor luminoase la cinema trebuie să fie, de aceea, foarte complex.

Un exemplu cunoscut îl constituie căderea fulgilor de zăpadă.

Leonardo da Vinci a observat: „Fulgii de zăpadă par să cadă mai repede în apropierea noastră şi mai lent în depărtare. Cei dintîi par să se unească, formînd un fel de fir alb, iar ultimii rămîn separaţi".

Picăturile de ploaie care cad mult mai repede decît fulgii, se alungesc totdeauna sub formă de linii lungi şi subţiri. Îmi amintesc însă de un caz cînd s-au putut vedea în aer picăturile izolate de ploaie. Aceasta s-a întîmplat pe la amiaza unei zile de vară cînd a început o ploaie însoţită de furtună, însă jumătatea cerului rămăsese neacoperită de nori, iar razele Soarelui iluminau, puternic picăturile de apă. Fîşia de ploaie trecea chiar prin umbra aruncată de case. Aceasta se întîmpla la vreo 40 m depărtare de mine. Dincolo de fîşia de ploaie urma o bandă îngustă de cîţiva metri, luminată de Soare, după care începea fondul întunecat al unui grup de copaci. În fîşia iluminată de Soare se puteau vedea picături de ploaie mari şi strălucitoare, şi întrucît această fîşie se află la o distanţă destul de mare de mine, am văzut cum cădeau aceste picături luminoase, asemănătoare unui stol de păsări care coboară.

94. Fenomenul de „gard"

Spiţele unei roţi care se roteşte rapid au o formă cu totul neaşteptată dacă le privim printr-un gard. Oricît de bizar ar părea, desenul este simetric, astfel încît nu putem să determinăm direcţia de rotaţie (fig. 95) şi, deşi roata are o mişcare rapidă de translaţie şi rotaţie, imaginea observată este practic imobilă. Acest fenomen apare destul de clar, dacă privim printr-un gard roţile mari ale unei locomotive care frînează. Impresia este deosebit de puternică atunci cînd coroana roţii este luminată mai intens decît spiţele, iar fantele dintre şipcile gardului sînt înguste.

Efectul nu se observă însă dacă privim prin gard o roată care se învîrteşte stînd pe acelaşi loc; trebuie neapărat ca mişcarea de rotaţie să fie însoţită şi de o mişcare de translaţie.

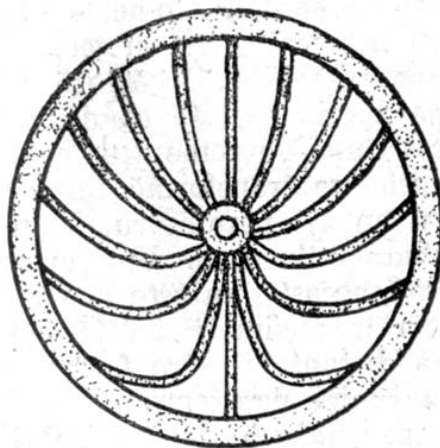


Fig. 95. Efectul de „gard": o roată care se rostogoleşte, văzută printr-un gard lung.

În explicarea acestui fenomen pornim de la faptul că observatorul, urmărind roata, leagă de ea tot ceea ce vede. Aceasta este o condiție necesară, care este satisfăcută datorită modului de iluminare descris mai înainte. Să presupunem că roata se învîrteşte în jurul unui punct fix O, iar fantele din gard se deplasează uniform în fața ei (fig. 96, a). Să presupunem că, în poziția inițială, o fantă oarecare intersectează o spiță dată în punctul A; atunci prin fantă se va vedea o parte a spiței, situată lîngă A. Puțin timp după aceea, spița va trece deja pe linia OB, iar fanta se va deplasa astfel, încît ele se vor întîlni în punctul B; mai tîrziu, punctul de intersecție se va deplasa în C. În acest fel, punct cu punct se trasează curba ABCO. Prin urmare, orice linie observată va fi locul geometric al punctelor în care vedem un timp foarte scurt intersecția unei anumite fante cu o anumită spiță.

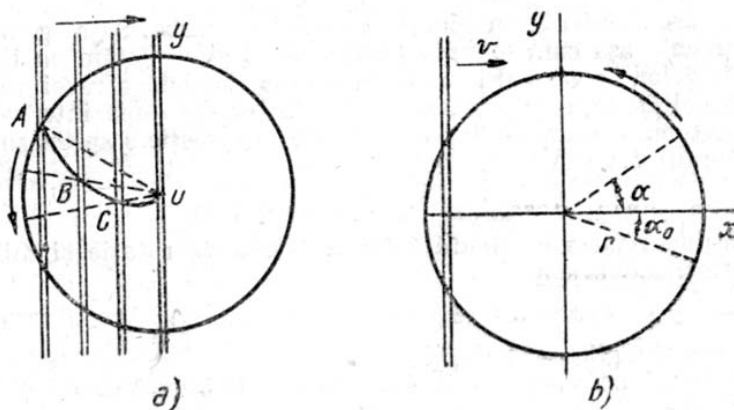


Fig. 96. Efectul de „gard."

Datorită inerției senzației vizuale, ni se pare că vedem simultan întreaga curbă, cu condiția ca roata să se învîrtească suficient de rapid.

Fiecare spiță următoare, trecînd, la rîndul ei, pe lîngă aceeaşi fantă, descrie o curbă care aparține aceleiaşi familii, însă care are un alt parametru; aceasta înseamnă că în fața ochilor noştri apare imaginea în întregime. Dacă spița următoare şi fanta următoare ocupă locul corespunzător celor precedente în acelaşi interval de timp, atunci, evident, va fi trasată aceeaşi serie de curbe şi întreaga imagine va apare imobilă. Dacă însă distanțele dintre fante nu satisfac pe deplin această condiție, fiecare spiță va ajunge fantele ceva mai devreme sau ceva mai tîrziu. În acest caz, fiecare curbă se transformă într-o altă curbă a aceleiaşi familii, cu un alt parametru. Vom vedea atunci imaginea deplasîndu-se încet în direcția rotației sau în direcția contrară, însă aceasta nu este o rotație a întregii imagini, deoarece ea rămîne simetrică față de verticală. Este posibil, în sfîrşit, ca distanțele între fante să fie mult mai mari sau mult mai mici, de exemplu de două ori mai înguste. În acest caz, vom vedea de două ori mai multe curbe decît numărul de spițe existente şi dacă intervalele se succed regulat, imaginea devine din nou imobilă.

Din cele spuse reiese clar că de cele mai multe ori apar imagini care variază lent. Dar, de obicei, gardul este atît de scurt, încît tot fenomenul durează numai o secundă sau mai puțin, astfel încît cu greu reuşim să observăm vreo modificare. Eu personal nu am reuşit decît foarte rar să observ acest lucru.

Este uşor să deducem ecuația familiei de curbe. Să alegem axele de coordonate aşa cum se vede pe fig. 96, b şi să notăm cu litera v viteza fantelor în gard. Fie α_0 — înclinarea inițială a razei vectoare (adică a spiței) față de axa x, iar α — înclinarea după intervalul de timp t. Atunci coordonatele punctului de intersecție a spiței cu fanta la momentul t vor fi:

$x = v\,t \qquad x = x \operatorname{tg} \alpha.$

Folosind relația existentă între mişcarea de rotație şi mişcarea de translație, obținem:

$vt = \alpha - \alpha_0$ sau $x = r(\alpha - \alpha_0)$, unde r este lungimea unei spițe.

Eliminînd pe α, deducem ecuația familiei de curbe

$$y = x \operatorname{tg}(x/r + \alpha_0)$$

Din această expresie rezultă că y rămîne neschimbat cînd α_0 şi x îşi schimbă simultan sensul ceea ce înseamnă simetria imaginii față de axa y.

Un cititor mi-a comunicat că observă acest fenomen neobişnuit de fiecare dată cînd merge cu bicicleta pe şosea alături de un alt ciclist şi se uită prin roata bicicletei acestuia la pavajul şoselei.

Figuri mai complicate apar cînd prin una din roțile mari ale unei căruțe privim cealaltă roată. Dacă privirea se abate puțin spre dreapta sau spre stînga, astfel încît o roată nu o mai acoperă complet pe cealaltă, se observă curbe din cele mai neobişnuite. Aceste curbe, observate de Faraday şi care îi aminteau de forma liniilor de forță magnetice, sînt locul geometric al punctelor de intersecție a două spițe.

Este, de asemenea, interesant de observat două roți aşezate una în spatele celeilalte, care se rotesc cu aceeaşi viteză în direcții opuse. Această imagine poate fi văzută deseori la gura minelor. Ni se pare că vedem o singură roată şi că ea este în repaus; dacă fiecare roată are n spițe întunecate pe fondul cerului, roata aparentă pare să aibă 2 n spițe luminoase. Uneori, imaginea se roteşte puțin într-o parte sau în alta: aceasta se datoreşte micilor variații ale vitezelor de rotație ale roților. Fenomenul a fost observat încă de Faraday.

95. Sursele de lumină care pîlpîie

Printre reclamele luminoase care se văd noaptea în marile oraşe cel mai mult ne atrag atenția tuburile portocalii cu neon. Ele sînt alimentate cu curent alternativ cu frecvență de 50 Hz. Aceasta înseamnă că intensitatea luminii variază de 100 ori într-o secundă, deoarece unui ciclu îi corespund două maxime luminoase. Frecvența de pîlpîire este atît de mare, încît de obicei nici n-o observăm.

Dacă, însă, în fața tubului cu neon aprins mişcăm înainte şi înapoi un obiect oarecare strălucitor, urma sa luminoasă apare sub formă de benzi. Cu cît obiectul se mişcă mai repede, cu atît benzile sînt mai clare. Numărul benzilor permite sa determinăm frecvența curentului alternativ. Dacă, de exemplu, învîrtim un foarfece strălucitor astfel încît să descrie un cerc de 4 ori pe secundă şi urma luminoasă să dea 12 maxime, atunci frecvența impulsurilor curentului va fi egală cu 12 X 4 = 48, iar frecvența curentului alternativ va fi de 24 Hz.

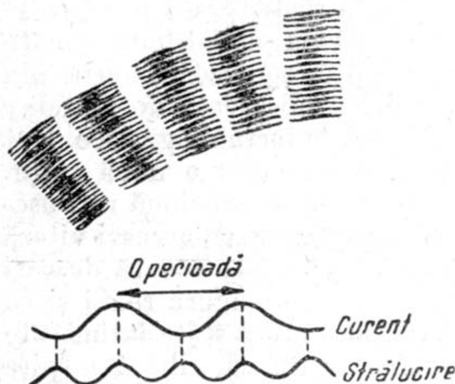


Fig. 97. Observarea pîlpîirii rapide a luminii lămpilor electrice.

Această experienţă poate fi efectuată şi prin reflexia sursei de lumină într-o oglindă sau o bucată de sticlă (de exemplu, geamul unui ceas de mînă); putem, de asemenea, să descriem, cu lentilele: ochelarilor, mici cercuri în faţa ochilor (vezi § 47). În sfîrşit, pîlpîirea poate fi observată cu ochiul liber, dacă ne aţintim privirea asupra unui punct oarecare aproape de tubul cu neon şi apoi schimbăm brusc direcţia privirii. În acest caz, imaginea sursei se mişcă pe retină şi fiecare maxim este sesizat separat. Modificarea bruscă a direcţiei de privire este un lucru surprinzător de greu. Uneori reuşeşte, alteori nu. Să privim, de asemenea, un bec electric alimentat cu curent alternativ. Dacă agităm în faţa sa un creion metalic, putem vedea clar benzile care dovedesc că lumina şi temperatura firului incandescent cresc uşor la fiecare impuls al curentului şi scad în intervalul dintre două impulsuri (fig. 97). Dacă becul e alimentat cu curent continuu, nu vom vedea nici un fel de benzi.

Dacă noaptea privim, prin fereastra unui tren, lămpile de sodiu folosite cîteodată pentru iluminarea străzilor, geamul apare uneori ca şi cum ar avea nervuri. Aceasta are loc numai atunci cînd distanta dintre geam şi observator este de circa 2 m, iar geamul puţin umed sau aburit a fost uşor şters în direcţie verticală, îndată ce pe aceste porţiuni ale geamului cade lumina de la felinarele îndepărtate, benzile devin vizibile. Aceasta se explică prin aceea că pelicula de apă nu are o grosime uniformă: datorită faptului că geamul a fost şters, se formează o serie de prisme subţiri cu feţele verticale şi unghiurile de refracţie variind de la punct la punct, ceea ce produce deplasări neregulate, uneori bruşte, în imaginile felinarelor. Dacă lămpile de sodiu ar fi alimentate în curent alternativ, am vedea benzile la fel ca şi în cazul lentilelor de ochelari care sînt supuse unei mişcări rapide.

Unul din cititorii mei a observat că, mergînd cu bicicleta pe o şosea pavată, iluminată cu lămpi de sodiu, vedea foarte clar desenul pavajului (aceasta se referă la liniile perpendiculare la direcţia şoselei), ca şi cum ar fi stat pe loc deşi viteza cu care mergea era de circa 18 km/oră. Dacă viteza de mişcare se mărea, pavajul părea că rămîne în urmă; la o micşorare a vitezei, pavajul părea s-o ia înainte; probabil că lămpile erau alimentate în curent alternativ cu frecvenţa de 50 Hz şi astfel pîlpîiau de 100 de ori pe secundă. În 0,01 s bicicleta parcurgea circa 5 cm, ceea ce este aproximativ egal cu lăţimea unei pietre de pavaj. Imaginea unei pietre se suprapunea peste imaginea celei următoare şi deci desenul, în ansamblu, părea nemişcat.

96. Frecvenţa limită a pîlpîirilor pentru cîmpurile vizuale central şi periferic

Acolo unde frecvenţa curentului alternativ este joasă (20—25 Hz), putem efectua următoarea experienţă interesantă. Priviţi întîi un bec şi veţi vedea că lumina sa este uniformă, în timp ce peretele luminat de bec pîlpîie. Apoi, priviţi peretele: iluminarea sa devine uniformă, însă acuma începe să pîlpîie becul[1].

Este clar că perceptibilitatea cîmpurilor vizuale, central şi periferic, nu este aceeaşi. Este posibil ca variaţiile intensităţii luminii becului să fie foarte mici, iar pragul de sensibilitate faţă de diferenţele de intensităţi la cîmpul periferic să fie mai mic. Pentru a ne convinge de acest lucru, să descriem cu un obiect strălucitor oarecare un cerc în apropierea becului. Urma luminoasă, chiar dacă o privim ţintă (vezi § 82), prezintă fluctuaţii de luminozitate clar vizibile, cu intervale regulate. Aceasta înseamnă că faţă de diferenţele de intensitate mici, cîmpul vizual central este suficient de sensibil, însă pur şi simplu el nu reuşeşte să facă faţă ritmului fluctuaţiilor.

[1] Woog, „G.R.", Paris, 16S, 1222; 169, 93, 1919.

Cercetările de laborator au confirmat, de asemenea, existența acestei proprietăți a ochiului nostru. Remarcabil este faptul că aceste pîlpîiri nu numai că sînt observabile, dar ni se pare chiar că le putem număra. În mod greşit însă ne formăm impresia că frecvența lor nu este mai mare de 10 pe secundă (§ 99).

97. Roata de bicicletă „imobilă"

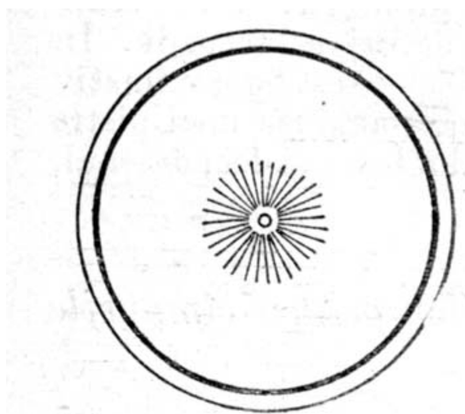


Fig. 98. Iată cum arată o roată de bicicletă care se învîrteşte repede.

Roțile unei biciclete în mişcare arată aproximativ aşa cum se vede în fig. 98. Ochiul nostru poate să urmărească numai mişcarea acelor părți ale spițelor care sînt apropiate de centru, deoarece ele se mişcă mai încet. Să ne aşezăm însă în apropierea unei şosele pe care trece întotdeauna un număr mare de ciclişti şi să privim, în mod constant, un anumit punct de pe şosea. În momentul în care o roată de bicicletă apare în cîmpul vizual, vom vedea deodată foarte clar cîteva spițe, chiar dacă bicicleta se mişcă foarte repede. Acesta este un fenomen surprinzător. Principalul este să privim, în mod continu într-o singura direcție şi să nu urmărim cu privirea bicicleta care se apropie.

Fenomenul se explică prin faptul că acel punct de pe roata în mişcare în care aceasta atinge pămîntul se opreşte pentru o clipă în momentul atingerii de pămînt (fig. 99). Capetele spițelor lîngă acest punct vor fi şi ele aproape imobile, în timp ce punctele mai îndepărtate de pămînt se vor mişca rapid pe o curbă, datorită compunerii mişcării de rotație şi de translație. Prin urmare, dacă reuşim să ne fixăm privirea asupra unui anumit punct pe pămînt, partea inferioară a roții ne apare mai mult sau mai puțin imobilă. Tocmai acest lucru îl şi observăm.

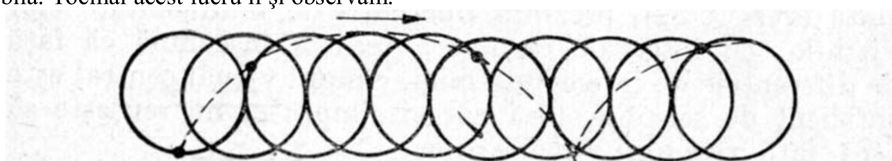


Fig. 99. Traiectoria unui punct pe circumferința unei roți care înaintează. În cursul unei rotații, fiecare punct al roții se opreşte pentru o clipă. Aceasta se întîmplă tocmai în momentul cînd punctul atinge pămîntul.

Eu sînt de părere că spițele pot fi văzute cel mai clar în momentul cînd ele apar în cîmpul vizual periferic. Cu siguranță că aici intervine capacitatea noastră de a urmări modificările rapide ale luminii.

98. Roata de automobil „imobilă”

Cînd un automobil se mişcă, chiar cu o viteză redusă, spițele roților sale nu pot fi deosebite. În fiecare punct dat al retinei noastre, pîlpîirea imaginilor luminoase şi întunecate are loc atît de rapid, încît senzațiile se suprapun; muşchii ochiului nu permit privirii noastre să descrie un con cu o astfel de viteză încît să poată urmări fiecare spiță în parte[1].

---

[1] În prezent, roțile de automobil nu au de obicei, spițe: ele sînt făcute din discuri pline cu mici tăieturi la



Fig. 100. Curba descrisă de ochi în timpul mersului.

Cu toate acestea, se întîmplă ca spiţele să fie vizibile un timp infinit de mic, ca într-un instantaneu fotografic. De obicei, putem vedea numai cîteva spiţe, însă uneori mi s-a părut că văd clar întreaga roată. În acest caz, explicaţia dată în legătură cu roata de bicicletă imobilă nu mai este bună. Pentru un caz atît de surprinzător ar trebui să admitem că, în anumite momente, roata este într-adevăr imobilă; imposibilitatea acestui lucru este evidentă.

În curînd însă se constată că vizibilitatea instantanee a spiţelor roţii de automobil apare practic tocmai în momentul cînd călcaţi apăsat pe pămînt ori vă loviţi uşor pe ochelari (dacă sînteţi miop) sau cînd întoarceţi brusc capul. Nu este exclus ca, în aceste cazuri, ochiul sau direcţia privirii noastre să sufere oscilaţii amortizate foarte rapide, care reproduc, uneori, cu precizie, oscilaţiile spiţelor în mişcare, astfel încît imaginile acestora din urmă pe retină rămîn pentru o clipă imobile. Poate că axa globului ocular execută nişte mişcări oscilatorii uşoare. Este oare posibil ca ochiul, fiind supus unor trepidaţii slabe de acest gen, sa poată efectua rotaţii dezordonate foarte rapide în jurul axei sale ?

Următorul fapt poate constitui o verificare directă a teoriei vibraţiei ochiului. Dacă mergem noaptea cu paşi energici şi uniformi, ţinînd privirea aţintită asupra unui felinar îndepărtat, putem observa că lumina sa descrie la fiecare pas o mică curbă, care aminteşte, mai mult sau mai puţin, de aceea din fig. 100.

Acest fenomen poate fi observat uneori dacă, stînd pe loc, privim un automobil care trece prin faţa noastră. Fenomenul se explică prin mişcările bruşte, uşoare şi inconştiente ale ochiului. Faptul că deseori ochiul se deplasează sub influenţa unor mici izbituri, se confirmă dacă privim o clipă (cu mare băgare de seamă!) Soarele la asfinţit. Imaginile consecutive sînt formate, în acest caz, din cîteva pete negre şi nu dintr-o bandă neagră continuă.

99. Elicea „imobilă" a avionului[1]

Cine are ocazia să zboare cu avionul, să privească cu atenţie elicea. Cînd aceasta începe să se rotească, observăm o pîlpîire care apare în urma faptului că lumina fondului este întreruptă de rotaţia elicei de cîteva ori pe secundă. În curînd, rotaţia devine atît de rapidă, încît fondul apare uniform, întoarceţi privirea şi uitaţi-vă la elice dintr-o parte; veţi vedea din nou pîlpîirea. Dacă privirea îşi modifică puţin direcţia, pîlpîirea devine şi mai vizibilă. Dacă închidem ochiul stîng, vedem foarte bine pîlpîirea cu ochiul drept; pata care pîlpîie va fi deplasată puţin înspre partea dreaptă a elicei, iar dacă privim cu ochiul stîng, ea va fi deplasată spre stînga avionului. Deosebit de interesant este să urmărim acest fenomen atunci cînd rotaţia elicei este ceva mai lentă, ceea ce se întîmplă, de obicei, la decolare, în timpul pregătirii pentru decolare etc. Dacă încercăm să numărăm pîlpîirile, în direcţia centrală, vom număra pînă la 25 de pîlpîiri pe secundă, în timp ce în cîmpul periferic abia vom găsi 10 pe secundă. Acest fenomen este asemănător cu acela pe care l-am observat la fluctuaţiile de lumină ale unui bec (§ 95).

100. Observaţii asupra unei roţi de bicicletă care se învîrteşte

De obicei spiţele unei roţi de bicicletă care se învîrteşte nu se văd separat, ele se contopesc într-un voal subţire, mai întunecat în centru şi mai luminos spre margini. Umbra roţii pe o şosea netedă prezintă o distribuţie de lumină asemănătoare. Cît de întunecată este această umbră? Fiecare spiţă are o grosime de 2 mm, iar distanţa între ele la janta este în medie de 50 mm. Timpul cît este iluminat un punct de pe şosea depinde de raportul dintre suprafaţa transparentă a roţii şi suprafaţa întregii roţi;

---

obadă (pentru amplasarea ventilului camerei), însă tot ceea ce s-a spus despre observarea spiţelor se referă şi la aceste tăieturi, deşi ele apar mai puţin clar.

[1] H. S. Gradle, „Science", 68, 404, 1928.

putem scrie, aşadar:

Timpul cît este iluminată şoseaua/Timpul cît cade lumina pe roată = 50/50 + 2 = 50/52

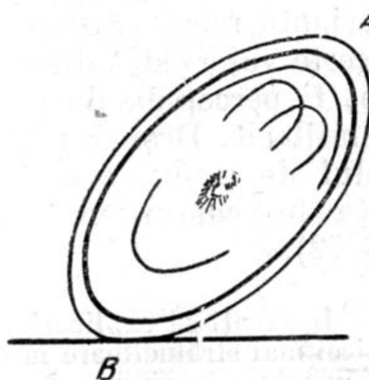


Fig. 101. Curbele luminoase sau întunecoase într-o roată de bicicletă în mişcare.

După legea lui Talbot, aceasta produce asupra ochiului nostru aceeaşi impresie ca şi cînd umbra roţii care se învîrteşte ar avea o strălucire constantă egală cu 50/52 din strălucirea şoselei neumbrite, însă razele Soarelui cad pe roată oblic, aşa că umbrele spiţelor sînt mai apropiate între ele, deşi grosimea lor nu se modifică. De aici rezultă că şi la janta roţii umbra va fi cu 4—8% mai întunecată decît fondul din jur, iar mai aproape spre centru slăbirea strălucirii atinge, probabil, 10—20%. Şi, totuşi, este greu de observat vreo diferenţa de strălucire, deoarece umbra întunecată a jantei roţii subliniază prea puternic limita dintre cele două cîmpuri comparate.

Slăbirea treptată a strălucirii spre centru este abia observabilă, fiindcă întotdeauna sîntem înclinaţi să considerăm o figură închegata, net conturată ca un tot unitar şi această tendinţă psihologică ne face să nu observăm diferenţa reală în strălucire.

Privind mai atent, observăm însă, de obicei, unul sau mai multe arcuri luminoase în umbra roţii (fig. 101). Deseori acestea sînt nişte curbe deschise, întrerupte. Daţi-vă jos de pe bicicletă şi priviţi cu atenţie locul unde se formează arcul luminos. El se găseşte la intersecţia a două spiţe; într-adevăr, în fiecare din aceste puncte, o spiţă parcă dispare şi umbrirea medie trebuie deci să se micşoreze, însă cît de mică este această diferenţă! Şi totuşi ochiul nostru o deosebeşte clar acum, cînd cele două străluciri se compară fără să existe o linie de demarcaţie între ele. Este greu de descris cum se îmbină spiţele. În marea majoritate, ele se unesc în grupuri de cîte patru şi aceste grupuri se repetă în jurul întregii roţi. Punctul de intersecţie a doua spiţe descrie o curbă pe care o vedem ca un mic arc luminos. După ce arcul se deplasează cu mai mult decît de 4 ori distanţa dintre două spiţe, se formează din nou un arc mic. Mai mult decît atît, dacă în fiecare grup apar două intersecţii, dintre care una o urmează pe cealaltă, acest arc mic va fi deosebit de luminos. În primul caz, el va fi cu 1 % mai luminos decît umbra din jur, iar în al doilea caz, cu 2%. Însă deoarece umbrele spiţelor se proiectează de obicei mai înghesuit şi micul arc luminos apare deseori la o oarecare distanţă de janta rotii, creşterea strălucirii este de 3, respectiv 6%. Aceste valori sînt diferenţele minime de strălucire care mai pot fi percepute dacă cîmpurile comparate se învecinează nemijlocit. Deşi neuniformităţile şoselei, care joacă aici rolul de ecran, constituie o piedică serioasă, rezultatul este în concordanţă cu evaluările noastre precedente (§ 72).

Încercaţi să explicaţi de ce arcurile şi inelele luminoase sînt de obicei mai strălucitoare la capătul A al umbrei alungite a roţii şi de ce imaginea apropiată de capătul A şi cea apropiată de capătul B nu sînt identice.

Dacă privim nu umbra roţii bicicletei noastre, ci chiar roata unei biciclete care se mişcă alături de noi, aceleaşi arcuri şi inele sînt mult mai clar vizibile, deoarece acum ele nu mai sînt difuze şi se evidenţiază foarte net (vezi § 2). Pe un fond luminos, spiţele apar întunecate, astfel încît arcurile sînt mai strălucitoare. Dacă însă roata este iluminată de Soare, iar fondul este întunecat, arcurile apar mai întunecate.

Fără îndoială, acesta nu este încă ultimul din efectele curioase create de mişcările rapide ale roţii de bicicletă. Dacă priviţi umbra roţii şi reuşiţi să efectuaţi cu ochiul o mişcare circulară rapidă, astfel încît privirea să urmărească inconştient umbra, se poate întîmpla ca să observaţi brusc, pentru un moment, liniile nete ale spiţelor (vezi § 98). Dacă purtaţi ochelari, este suficientă o mică deplasare bruscă a lentilelor pentru ca să devină vizibile spiţele izolate, care se vor mişca în impulsuri ciudate, însă umbra cea mai curioasă poate fi văzută atunci cînd mergeţi cu bicicleta pe un drum pavat cu pietre. Cu toate că fondul este neuniform, veţi vedea clar liniile radiale, dar curbate, aproape totdeauna în aceeaşi parte a umbrei (fig. 102). Recunoaştem imaginea „fenomenului de gard" (§ 94). Ea se vede cel mai bine dacă privim umbra roţii unei biciclete care se deplasează alături de noi. Este clar că liniile falţurilor pavajului joacă rolul fantelor gardului şi este foarte probabil că în aceste condiţii observatorul priveşte fix însăşi roata.

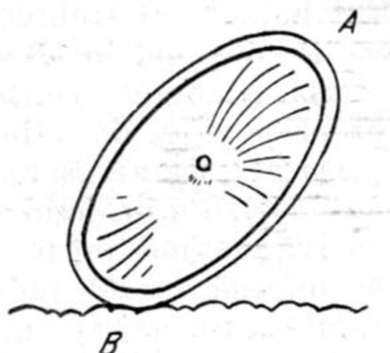


Fig. 102. Liniile curbe în umbra unei roţi de bicicletă care se mişcă pe un drum pavat cu piatră.

În afară de curbele descrise, se poate observa cîteodată încă o curbă luminoasă specifică; ea poate fi văzută însă numai în cazul cînd Soarele iluminează o bicicleta cu spiţe noi, strălucitoare.

101. Imaginile consecutive

Ca şi drumeţul ce-n faţa Soarelui stînd s-asfinţească,
Plin de nesaţ îl mai soarbe din ochi în timp ce apune,
Apoi privind pe negura unui tufiş ori pe-o stîncă
Tot îi mai stăruie chipul în ochi, oricum s-ar întoarce,
Joacă, îi tremură şi i s-aprinde-n culori minunate
Astfel îi trece lui Hermann scumpa imagine — a fetei pe dinainte...
(Goethe, Hermann şi Dorotheea, **cîntul** VII)

În timpul acestor observaţii fiţi foarte prudenţi! Nu vă obosiţi prea mult ochii! Nu efectuaţi mai mult de două experienţe una după altă!

Priviţi cu atenţie Soarele care apune şi apoi închideţi ochii. Imaginea consecutivă constă din mai multe cercuri mici şi aceasta arată că ochiul trebuie să se fi mişcat în mici salturi chiar şi în acel interval scurt de timp cît a durat privirea noastră. Cercurile ne vor uimi prin dimensiunile lor mici, pentru că, datorită strălucirii sale foarte mari, Soarele ni se pare mult mai mare decît este în realitate; mărimea sa adevărată apare în imaginile consecutive.

Deschideţi din nou ochii şi veţi vedea imaginile consecutive oriunde vă veţi uita. Cu cît sînt mai îndepărtate obiectele pe care se proiectează aceste imagini, cu atît mai mari ni se par înseşi imaginile. Desigur, diametrul unghiular rămîne" totdeauna neschimbat, însă dacă ştiţi că un obiect este la O distanţă mult mai mare decît un altul, atunci chiar dacă ele sînt vizibile sub aceleaşi unghiuri, pe baza experienţei zilnice, veţi ajunge în mod inconştient la concluzia că obiectul îndepărtat trebuie să fie mai mare.

Pe un fond întunecat, imaginea consecutivă va fi luminoasă (imagine consecutivă pozitivă). Aceasta se poate observa bine, dacă închidem ochii şi îi acoperim cu mîna (ceea ce este necesar, deoarece pleoapele sînt parţial transparente). Pe un fond luminos, dimpotrivă, imaginea consecutivă .devine întunecată (imagine consecutivă negativă). O lumină foarte puternică produce probabil o excitare locală a retinei şi impresia se păstrează; totodată se micşorează sensibilitatea acestei porţiuni a

retinei față de senzațiile luminoase noi.

La Soarele cel roşu şi mare am privit
Cu toată încordarea, cu ochiul ațintit.
Ori-încotro, pe urmă, privirea mi-aruncam,
Sori palizi, trişti ca moartea şi spălăciți zăream.
De după orice lucru roiau fără-ncetare
Dansînd în cercuri negre, în mut-amenințare,
Săltau pe jos, pe ziduri, în aer — pînă-n nori
Urca în veşnic zbucium acest convoi de sori.
Piereau, lăsîndu-şi însă în inima-mi cuibar.
Şi cel din urmă lucru zărit — ş-acum tresar! —
A fost... o beznă parcă, deasupră-mi atîrnînd.

Rene de Clercq, De Noodhoorn

Sursele de lumină mai slabe decît Soarele dau imagini consecutive mai slabe. Excitarea pe retină se atenuează în acest caz în cîteva secunde sau chiar fracțiuni de secundă şi rămîne numai oboseala, astfel încît putem observa doar imaginea consecutivă inversă pe fondul luminos.

Se povesteste că unor persoane care priviseră timp de o jumătate de oră flăcările galbene-portocalii ale unui foc, Luna care răsărea li s-a părut albastră.

Lumina unui fulger în timpul unei furtuni, noaptea, ne permite uneori să observăm o imagine consecutivă sub forma unei linii negre, subțiri şi şerpuitoare, pe fondul unui perete alb luminat sau pe fondul luminii slab difuzate a cerului[1].

Dacă privim orizontul în amurg pe malul mării, la un moment dat constatăm că nu mai putem deosebi limita dintre cerul luminat şi marea întunecată. Aceasta se explică prin faptul că ochiul fiind excitat de lumină timp mai îndelungat, retina oboseşte şi acțiunea excitantă a luminii asupra ei devine mai slabă. Justețea acestei concluzii poate fi dovedită uşor dacă ridicăm privirea puțin mai sus; imaginea consecutivă negativă a mării capătă forma unei fîşii luminoase pe fondul cerului. Dacă coborîm privirea ceva mai jos putem vedea imaginea consecutivă, de astă dată întunecată, a cerului pe fondul mării[2].

Atunci cînd sursele de lumină sînt colorate, tranziției de la alb la negru îi corespunde tranziția imaginii consecutive spre culoarea complementară: roşul trece în albastru-verde, portocaliul în albastru, galbenul în violet, verdele în purpuriu şi invers.

Amurgul este vremea cea mai potrivită pentru observarea imaginii consecutive; toate exemplele tipice ale acestor imagini date de Goethe au fost observate în orele de seara. La această oră, ochiul este liniştit, iar contrastul dintre lumina la apus şi întunericul la răsărit atinge valoarea maximă.

În lucrarea sa despre Teoria culorilor, Goethe scrie: „într-o seară, intrînd într-un han, s-a apropiat de mine o fată drăguță. Ea avea fata extrem de palidă şi părul negru; purta un corsaj de un roşu aprins. M-am uitat țintă la ea tot timpul cît a stat la o oarecare distanță de mine. Cînd fata a plecat, am văzut pe peretele alb opus o față neagră, înconjurată de un nimb strălucitor şi o figură clar conturată într-o rochie de culoarea minunată a apei mărilor"[3].

102. Fenomenul Elisabetei Linne

Elisabeta Linne, fiica marelui botanist, a observat o dată, într-o seară, o lumină emisă de florile portocaliii ale călțunaşului (*Tropaeolum majus*). S-a presupus că este vorba de un fenomen electric. El a fost observat de Darwin la florile unei specii de crin din Africa de sud, precum şi de Haggren, Dowden şi de cercetători mai vechi. Toate observațiile se referă la amurg, la răsăritul sau la apusul Soarelui. Canon Russel a repetat această experiență cu gălbeneala (*Calendula Officinalis*) şi cu frasinul alb (*Dictamnus fraxinella*), observînd, totodată, că anumiți oameni văd această lumină mai bine decît alții.

Şi totuşi, se pare că acest fenomen, căruia la timpul său i-a fost consacrat un număr mare de lucrări ştiințifice, trebuie atribuit pur şi simplu imaginii consecutive! Goethe a văzut imagini consecutive, îndreptîndu-şi privirea asupra unei cărări acoperite de nisip, după ce, în prealabil, se uitase timp îndelungat la flori colorate strălucitor. Bujorul, macul, gălbeneala şi safranul galben dădeau, în special în amurg, imagini consecutive frumoase verzi, albastre şi violete, iar sclipirile strălucitoare apăreau numai cînd poetul arunca o privire în lături. Tocmai la aceasta trebuie să ne şi aşteptăm în cazul imaginilor consecutive.

Dacă vreți să vedeți clar acest fenomen, puneți, alături de flori vii flori din hîrtie viu colorată şi urmăriți dacă fenomenul apare şi la acestea din urmă.

---

[1] „Nature", 60, 341, 1905

[2] Helmholtz, Physiologische Optik,editxia a 3-a, vol. 2, 202.

[3] Goethe, op. cit., I, l, § 52.

103. Modificarea culorii în imaginile consecutive

Viteza de dispariţie a imaginii consecutive depinde de culoare, în special atunci cînd lumina este foarte puternică. De aceea, imaginile consecutive ale Soarelui şi ale obiectelor albe strălucitoare sînt colorate. Pe un fond întunecat, imaginea consecutivă capătă de obicei la început o culoare albastră-verzuie, iar apoi purpurie.

„Am intrat seara într-o fierărie în momentul cînd se pusese pe nicovală o bucată de fier roşu. Un timp m-am uitat ţintă la ea, apoi m-am întors şi mi-am aruncat întîmplător privirea spre magazia de cărbuni deschisă. În faţa ochilor mei plutea o imagine purpurie uriaşă şi cînd m-am uitat din nou la grinzile luminoase ale clădirii, culoarea deveni pe jumătate verde, pe jumătate purpurie, după cum fondul era luminos sau întunecat"[1].

Dacă privim zăpada care străluceşte în Soare sau dacă citim o carte la lumina Soarelui, toate obiectele strălucitoare din apropiere par purpurii, iar în umbră toate obiectele întunecate capătă o nuanţă verde frumoasă. Şi aici imaginea consecutivă care se vede pe un fond întunecat capătă pe fondul deschis culoarea complementară. Unii observatori vorbesc despre culoarea „roşu-sînge" în loc de purpuriu.

Cînd mergem în direcţia Soarelui care apune, peste toate locurile întunecate ale peisajului pare să se reverse o lumină roşiatică. Lumina Soarelui cade în ochi nu numai prin pupilă, adeseori ea pătrunde chiar şi prin pleoape şi cornee, devenind astfel roşie ca sîngele. Cîmpul nostru vizual este complet inundat de această lumină roşie generala şi noi o observăm clar de fiecare dată cînd obiectele din jur sînt întunecate; literele negre apar, de exemplu, roşii. Dacă trecem acum în umbră sau intrăm în cameră, retina noastră rămîne obosită faţă de culoarea roşie şi toate locurile strălucitoare par verzi.

La observatorul care nu ia măsuri speciale de precauţie, imaginile consecutive colorate de la lumina albă (care pătrunde prin pupilă) se combină cu oboseala faţă de lumina roşie (care pătrunde prin cornee) şi se obţine un efect complex.

În lumina serii, literele negre apar roşii, probabil din cauză că Soarele aproape de orizont luminează în ochii cititorului.

104. Contrastul obţinut la „compararea simultană" (fotografia XI)

Luaţi o foaie de desen albă, curată şi, ţinînd-o vertical, aşezaţi-vă la o fereastră care nu este luminată de Soare. Priviţi nu spre fereastră, ci paralel cu ea.

În această poziţie, hîrtia va fi bine iluminată şi va fi destul de strălucitoare. Apropiaţi hîrtia aşa încît să acoperiţi cu ea parţial cerul senin la orizont; veţi vedea că hîrtia devine de îndată neagră! Este clar că în această poziţie hîrtia nu este iluminată mai slab, deoarece ea se află şi mai aproape de geam. S-a schimbat numai fondul pe care efectuaţi experienţa cu hîrtia. În prima experienţă fondul era întunecat şi hîrtia a apărut mai luminoasă din cauza contrastului. În a doua experienţă, cînd fondul era mai luminos, hîrtia a apărut mai întunecată.

Astfel de fenomene de contrast joacă un rol important în toate observaţiile din natură.

105. Marginea de contrast la limita de separare a diferitelor străluciri

Contururile unui şir întunecat de case pe fondul cerului mai luminos apar, în special seara, înconjurate de o margine luminoasă. Aceasta se poate explica admiţînd că ochiul efectuează, în mod involuntar, mişcări uşoare şi imaginile consecutive strălucitoare ale caselor acoperă şi „luminează" cerul din jur. În felul acesta însă, efectul se explică numai parţial; o importanţă mult mai mare o are slăbirea sensibilităţii acelei porţiuni a retinei care înconjoară cîmpul iluminat (§90).

„Odată, stînd pe o pajişte, discutam cu un prieten care se afla la o oarecare distanţă de mine; figura sa se contura pe cerul cenuşiu. Un timp m-am uitat la el fix, fără întrerupere, iar apoi, întorcîndu-mi puţin privirea i-am văzut capul înconjurat de un nimb strălucitor"[2].

Părintele Beccaria, efectuînd experienţe cu un zmeu, a observat un mic nor luminos care înconjura zmeul şi sfoara de lansare. Cînd zmeul începea să se înalţe mai repede, norul părea să rămînă în urmă şi pentru o clipă oscila înainte şi înapoi[3].

Un exemplu admirabil de contrast optic îl oferă şesurile acoperite de coline: datorită perspectivei aeriene, crestele colinelor devin, pe măsură ce se îndepărtează, din ce în ce mai luminoase

---

[1] Goethe, op. cit., I, l, § 54. 152
[2] Goethe, op. cit., I, l, § 30.
[3] Ibidem.

pentru a se pierde pînă la urmă în depărtarea cețoasă (fotografia XII). Fiecare creastă pare mai întunecată de-a lungul vîrfului decît de-a lungul poalelor. Efectul este atît de convingător, încît nu se poate să nu-l observăm. Toate acestea nu sînt decît o iluzie optică care apare datorită faptului că fiecare creastă este înconjurată la vîrf de o fișie mai luminoasă, iar la poale de o fișie mai întunecată. Pentru demonstrație este nevoie numai de o bucată de hîrtie (punctată pe fotografia XII) care să acopere partea superioară a peisajului; aceasta este suficient pentru ca efectul de contrast să dispară.

106. Marginea de contrast de-a lungul contururilor umbrei.[1]

Se știe că o bucată de carton ținută în Soare aruncă pe un ecran o umbră, iar între ea și cîmpul luminos se formează o penumbră datorită dimensiunilor finite ale discului solar (§ 2). Dar știe oare toată lumea că această penumbră are o margine viu luminată în zona de tranziție dintre lumină și semiumbră ?

Atunci cînd Soarele se află aproape de orizont și, deci, nu este prea strălucitor, sa așezăm ecranul la circa 4 m în spatele bucății de carton pe care o vom legăna ușor pentru a netezi eventualele neuniformități. Efectul se vede foarte clar. Distribuția de lumină observată este reprezentată de linia plină din fig. 103.

Înțelegeți despre ce este vorba? Distribuția de lumină poate fi dedusă din următoarele considerații.

În punctele succesive 7, 2, 3 ale ecranului luminat, discul solar este acoperit din ce în ce mai puțin de bucata de carton. Strălucirea acestor puncte este proporțională cu porțiunea neacoperită a discului, care se mărește din ce în ce mai mult, și trebuie să varieze deci conform curbei punctate din fig. 103. Așadar, aici nu poate să existe o margine luminoasă; întregul efect trebuie să apară în urma unei iluzii optice.

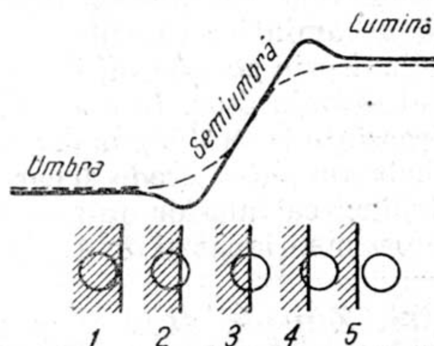


Fig. 103. Marginea de contrast de-a lungul limitei umbrei. Linia plină reprezintă distribuția aparentă a strălucirii, cea punctată — distribuția reală.

Într-adevăr, toate împrejurările favorizează această concluzie. Mach a arătat că benzile de contrast devin în mod obligatoriu vizibile, dacă strălucirea variază neuniform, cu alte cuvinte, dacă variația strălucirii este reprezentată grafic printr-o linie curbă și nu o dreaptă. Benzile de contrast parcă întotdeauna măresc curbura. Este ușor de înțeles că lucrurile stau într-adevăr așa, deoarece presupunem fie mișcări permanente slabe ale ochiului, fie o slăbire a sensibilității retinei în vecinătatea porțiunilor iluminate.

Exemplele din § 105 sînt și ele în concordanță cu teoria lui Mach; trebuie numai să atribuim abaterile de la curba reală a variației strălucirii creșterii exagerate a curburii.

Din timp în timp apare o posibilitate deosebită de verificare a acestei teorii, și anume cu ocazia eclipselor parțiale de Soare. Repetînd experiența în timpul eclipsei, putem obține diferite variante neobișnuite de distribuție a luminii de-a lungul marginii semiumbrei în funcție de acoperirea Soarelui de către Lună și de deplasarea umbrei aruncate de carton. Pentru fiecare din aceste variante se obțin benzi de contrast vizibile, care satisfac în toate cazurile legea lui Mach. Nu trebuie să ne mirăm dacă umbrele arată atît de neobișnuit, încît stîrnesc interesul chiar și unor observatori ocazionali (vezi §

[1] K. Groes-Pettersen, „Astr. Nechr.", 196, 293, 1913.

3).

107. Zăpada neagră

Priviți fulgii de zăpadă care cad lin din cerul cenușiu. Pe fondul cerului acești fulgi par hotărît întunecați. Trebuie să ne amintim că culorile albă, cenușie și neagră diferă numai prin strălucire, iar măsura acesteia o constituie fondul înconjurător. În cazul considerat, toate strălucirile sînt raportate la strălucirea cerului, care este mult mai puternică decît am putea crede și care este totdeauna mai mare decît strălucirea fulgilor de zăpadă observați de jos. Fenomenul a fost menționat și de Aristotel.

108. Zăpada albă și cerul cenușiu[1]

Cerul cenușiu uniform pare mult mai întunecat decît Pămîntul acoperit de zăpadă și totuși sîntem uimiți, deoarece cerul iluminează Pămîntul, iar suprafața obiectului iluminat nu poate să aibă niciodată o strălucire mai mare decît sursa de lumină. Strălucirea mai mare a cerului este confirmată în mod neîndoielnic prin măsurători fotometrice. Dacă luăm o oglindă mică și o așezăm astfel, încît imaginea cerului să fie vizibilă alături de imaginea zăpezii, putem observa că în comparație cu cerul alb, zăpada are într-adevăr o culoare cenușie. Efectuați neapărat această experiență: rezultatul ei este pe atît de convingător pe cît de neașteptat!

Și cu toate acestea, iluzia contrastului nu dispare, deși știm că în realitate lucrurile stau invers. Hotărîtor este aici contrastul dintre zăpadă și pădurile, tufișurile sau clădirile din jur mult mai întunecate.

Tot astfel, pe o zi mohorîtă, un perete alb poate apărea mai strălucitor decît cerul. Fotografiile și picturile care nu concordă cu această iluzie produc o impresie de nenatural.

109. Contrastul de culori

În multe cazuri cînd în jurul nostru predomină o anumită culoare, culoarea complementară pare mai accentuată. Uneori, aceasta se poate explica în acelasi mod ca și marginea de contrast, și anume prin mișcările involuntare pe care le efectuează în permanență ochiul nostru, însă un rol mult mai important îl joacă aici faptul că porțiunile de retină excitate de culoarea predominantă slăbesc sensibilitatea porțiunilor vecine față de această culoare. Totul se întîmplă ca și cum ochiul nostru ar fi devenit mai sensibil față de culoarea complementară, care provoacă, în consecință, impresia de mai multă prospețime și saturație. Sub acest aspect, contrastul de culoare poate fi considerat ca un exemplu în plus al legii generale, conform căreia culoarea și strălucirea pot fi apreciate numai în raport cu întregul complex de imagini care apar pe retină.

Un observator a menționat că într-o curte pavată cu calcar cenușiu, iarba care încolțise între pietre avea o culoare verde minunat de frumoasă, atunci cînd norii de seară aruncau pe pietre o lumină roșiatică abia perceptibilă[2].

Dacă mergem pe o pășune cînd cerul este relativ senin, peste tot predomină culoarea verde, iar trunchiurile copacilor și potecile par roșiatice. O clădire cenușie pare roșiatică dacă o privim printr-o perdea verde. Valurile mării sînt colorate într-un verde minunat în timp ce porțiunile umbrite par purpurii (vezi §§ 234—236)[3].

În cazuri extrem de rare, planetele trec foarte aproape de stele strălucitoare. Odată steaua a, din constelația Fecioara, de culoare albă, apărînd alături de Marte, care era portocaliu-roșcat, părea colorată într-o nuanță de albastru-oțel.

La o lampă de petrol sau la lumina roșiatică a unor lumînări, lumina Lunii sau a lămpilor cu arc apare verde-albastră. Acest contrast este deosebit de evident cînd sursele de lumină nu sînt prea intense, de exemplu dacă observăm simultan în apă imaginile Lunii și ale flăcărilor de gaz.

„Se părea că și razele albastre ale Lunii aveau o strălucire nepămîntească deasupra flăcărilor incendiilor și războiului" (Z). *Merejkovski, Leonardo, X, cap.* 8).

Cine a privit vreodată cel puțin o jumătate de oră flăcările portocalii ale unui incendiu și s-a uitat apoi la Lună a avut impresia că este albăstruie. Dacă seara ne plimbăm măcar 10 min cu un felinar a cărui sticlă este albastră deschisă, cerul și pereții caselor ne vor părea portocalii-roșietici. Fîșiile aruncate pe Pămînt de razele solare care pătrund prin frunzișul verde al pădurii ni se par puțin roze în

[1] „J, Optic. Soc. Amer.", **11,** 133, 1925, 156
[2] Goethe, op. cit., I, l, § 59.
[3] Ibidem, § 57.

comparație cu fondul verde general al pădurii[1].

Leonardo da Vinci a observat că „hainele negre fac ca fața unui om să pară mai albă decît este în realitate; hainele albe o fac să pară mai întunecată, hainele galbene scot mai puternic în evidență culoarea ei, iar hainele roșii o fac mai palidă".

Contrastul de culoare dispare la o diferență de strălucire mare. Aceasta se poate observa foarte clar seara, în amurg, cînd șirurile întunecate ale caselor se profilează la apus pe fondul cerului portocaliu strălucitor. La distanță se văd numai siluete întunecate de un singur ton; toate amănuntele și deosebirile de strălucire dispar. Tot astfel ne apar ramurile și frunzele copacilor; ele se aseamănă cu o catifea întunecată, culorile lor naturale au dispărut (vezi § 246). Aceasta nu poate fi atribuit faptului că iluminarea în sine este foarte slabă, deoarece în același timp culoarea oricăror obiecte de pe Pămînt poate fi distinsă clar.

După o plimbare pe zăpadă în timpul căreia cîteva ore ne-a înconjurat numai culoarea albă și cenușie, toate celelalte culori ne par deosebit de pline și calde. Ochii noștri „s-au odihnit de culoare".

„De altfel, aceste fenomene se întîlnesc peste tot și devin chiar supărătoare", spune Goethe în Fărbenlehre.

110. Umbrele colorate

Dacă un creion așezat vertical pe o foaie de hîrtie este iluminat dintr-o parte de o luminare, iar din altă parte de Lună, umbrele diferă în mod surprinzător prin culoare: prima are o nuanță albăstruie, iar a doua este gălbuie[2].

Există aici, de fapt, și o deosebire fizică în culoare, deoarece în locul în care cade prima umbră hîrtia este iluminată numai de Lună, iar în locul în care cade cea de-a doua, numai de luminare. Deși lumina Lunii este mai albă decît lumina luminării, ea nu este nicidecum albastră. De aceea, deosebirea reală în culoare a celor două umbre este, desigur, subliniată și modificată de contrastul fiziologic.

Tot astfel, putem observa noaptea deosebirea în culoare a două umbre ale noastre, dintre care una este aruncată de Lună și a doua de un felinar de stradă.

Putem să ne convingem foarte bine de măsura în care este relativă culoarea „portocalie" a felinarelor electrice în comparație cu lumina lămpilor cu sodiu, acolo unde lumina acestor două surse se amestecă. Umbra lămpii cu sodiu are o minunată culoare albastră; umbra felinarului este portocalie! Dacă sînteți iluminat numai de o lampă cu sodiu, umbra apare neagră, însă este suficient să vă apropiați de o lampa electrică obișnuită, pentru ca umbra aceasta să devină dintr-o dată mai albastră; și invers, umbra neagră de la lumina electrică se transformă brusc în portocaliu atunci cînd ne apropiem de lampa cu sodiu. Evident, ochiul se adaptează la mediu și înclină să considere culoarea predominantă ca albă, iar toate celelalte culori se estimează în comparație cu acest alb.

Goethe observă că umbrele obiectelor galbene-deschise au o culoare violetă. Din punct de vedere fizic aceasta este, desigur, nejust, însă datorită contrastului fiziologic, acest lucru se poate întîmpla, de exemplu, în cazul cînd obiectul este orientat spre observator cu fața iluminată și pentru acest observator umbra obiectului se suprapune peste un fond galben-deschis.

Se poate pune întrebarea de ce umbrele aruncate la amiază de Soare sînt practic necolorate, deși albastrul cerului se diferențiază foarte net de culoarea razelor solare. Explicația constă în aceea că diferența de strălucire a umbrei și luminii este prea mare. Dacă însă un ecran, pe care este aruncată umbra, se înclină astfel încît razele solare să treacă aproape tangent față de el, contrastul de culoare va fi mult mai pronunțat.

Un caz clasic îl constituie umbrele pe zăpadă ale căror culori au o puritate deosebită. Aceste umbre sînt albastre, deoarece ele primesc lumină numai de la cerul albastru; albastrul lor egalează aproape pe acela al cerului. Și pentru că le vedem împreună cu zăpada în lumina gălbuie a Soarelui, ele trebuie să apară și mai albastre. Totuși, datorită diferenței mari de strălucire, culoarea lor nu este atît de distinctă cum ne-am putea aștepta. Să urmărim aceste umbre în timpul unui apus de soare, în special în ultimele minute înainte de dispariția Soarelui. Pe măsură ce Soarele devine portocaliu, iar apoi roșu și purpuriu, umbrele devin albastre, verzi și verzi-gălbui. Nuanțele sînt atît de pronunțate din cauză că, în acest timp, deosebirea în strălucire a umbrei și a zăpezii înconjurătoare este mult mai mică decît ziuă. Razele Soarelui cad pe zăpadă sub un unghi foarte mic și de aceea, lumina difuzată a cerului joacă un rol relativ mai important. În afară de aceasta, culorile Soarelui devin din ce în ce mai pline.

„Călătorind odată în timpul iernii în Harz, am coborît în amurg de pe Brocken. Deasupra, ca și sub mine, se puteau vedea mari suprafețe albe de zăpadă, iar șesul era și el troienit de nea; copacii singuratici, stîncile, coroanele arborilor și masivele de piatră, totul era acoperit de brumă; Soarele

[1] H. Helmholtz, Optisches uber Malerei, 125.
[2] Goethe, op. cit., I, l, § 75.

apusese dincolo de lacul Oder. Ziua, cînd zăpada avea numai o slabă nuanță galbenă, umbrele păreau de un violet pal, acum însă, cînd porțiunile iluminate băteau într-un galben dens, umbrele deveniră net albastre. Iar cînd Soarele a dat în sfîrşit sa apună şi razele sale, estompate de aer, colorau totul în jur într-o splendidă lumină purpurie, umbrele căpătară o nuanță verzuie, care în privința purității tonului putea să concureze cu culoarea mării, iar ca frumusețe — cu smaraldul. Fenomenul era din ce în ce mai viu, credeai că te afli într-o lume de basm, pentru că totul părea scăldat de aceste două culori strălucitoare, armonios îmbinate, pînă cînd, în sfîrşit, Soarele a apus şi priveliştii minunate i-a luat locul amurgul cenuşiu, iar apoi noaptea senină cu Lună şi stele"[1].

Umbrele colorate pe zăpadă sînt — oricît de bizar ar părea acest lucru — un fenomen într-o anumită măsură psihologic[2]. Ziua, cînd cerul este albastru, umbrele par şi mai albastre, cu condiția să nu ne dăm seama că avem în față zăpadă. O pată întunecată pe zăpadă poate fi considerată din depărtare şi ca „zăpadă albă în umbră" şi ca „un lac albastru". Tot astfel, umbrele albastre de zăpadă apar mai albastre pe geamul mat al aparatului fotografic decît în natură, aşa încît în prima clipă nici nu le mai recunoaştem! Un observator care priveşte dintr-o pădure densă de conifere un tufiş îndepărtat acoperit de brumă este de fapt obiectiv cînd afirmă că bruma i se pare albastră; condițiile sînt aceleaşi ca şi cum ar privi printr-un tub (§ 192).

Psihologii ştiu prea bine că culorile pot fi aduse la tonul lor natural dacă privim printr-un orificiu mic. Culorile apar atunci situate în planul acestui orificiu, însă în momentul în care ne închipuim obiectul în mediul său natural şi în iluminare naturală, influența culorii este compensată automat şi acelaşi obiect ni se pare în mod surprinzător identic chiar şi în condiții variabile.

În literatura sovietică este dată o descriere foarte interesantă a acestui fenomen, văzut de ochii copiilor, adică de observatori care nu au idei preconcepute. Nu m-am îndoit nici o clipă că descrierea ce urmează este luată din viață, deşi anumite amănunte au fost, desigur, omise de autorul care scria din memorie. Cel puțin o parte din cer trebuia să fi rămas albastră atunci cînd cădea zăpada şi Soarele nu era vizibil:

— Ia-te-uită, Galia! Dece-i albastră ninsoarea care pluteşte colo?... Ia-te-uită, ninsoare albastră! Albastră!... Mare fierbere între copii şi strigăte de bucurie:

— Ninsoare albastră! Albastră... Cade ninsoare albastră!...

— Ce albastru? Unde?... Mă-ntorsei, privii spre cîmpiile de zăpadă, spre munții de zăpadă şi mă emoționai şi eu. Era ceva cu totul neobişnuit: neaua se cernea, unduind spre noi, din toate părțile, de aproape şi de departe, în talazuri albastre. Şi copiii strigau cu emoție voioasă:

— Pentru că se scutură cerul! De aia ninge albastru, nu-i aşa Galia?...

— Albastru!... Albastru!...

Avui încă o dată prilejul să fiu uimită de spiritul de observație şi de agerimea copiilor. Eu nu băgasem de seamă această albăstrime fluturătoare. De multe ori am savurat prima cădere a zăpezii, dar încă niciodată nu văzusem acest nemărginit şi străveziu Vîrtej albastru de ninsoare deasupra pămîntului. După toate probabilitățile, şi de-acum încolo voi mai avea ocazia să mă minunez mereu de ciudatele descoperiri ale copiilor şi de aceste scîntei ce scapără necontenit din micile lor capete[3].

111. Umbrele de culoare care apar de la reflexii colorate

Obiectele colorate iluminate de Soare aruncă adeseori atîta lumină, încît apar umbre colorate în lumină complementară. Un carnețel de notițe este un instrument ideal pentru observarea acestor efecte luminoase. Deschideți-l în unghi drept; o foaie va reține lumina venită de la cer sau de la razele Soarelui, iar cealaltă va prinde imaginea colorată. Dacă în fața hîrtiei aşezați un creion, umbra sa va căpăta culoarea complementară, aşa încît creionul poate servi ca indicator foarte sensibil al culorii luminii incidente. Un perete colorat în verde sau un tufiş verde aruncă umbre roz; un perete galben dă umbre albastre (o dată ele s-au întins pe o distanță de 400 m); aceeaşi umbră a fost observată de la versantul unui munte de culoarea ocru.

112. Triunghiul de contrast

Un observator povesteşte[4] că într-o noapte senina a văzut, de pe vasul său Luna, care se afla la 20° deasupra orizontului şi care se reflecta în valuri sub forma unui triunghi luminos ce se întindea de la vas pînă la orizont (fig. 104). Lucrul cel mai interesant a fost acela că de la Lună pînă la orizont i-a

---

[1] Goethe, op. cit., I, l, 75.
[2] I. G. Priest, „J. Optic. Soc. Amer.", 13, 308, 1926.
[3] F. V. O Iadkov, „Novaia Zemlea" M-L, 1931, pp. 155-156.
[4] Cl. Martins, „G.R.", Paris, 43, 763, 1856.

apărut un triunghi asemănător, însă întunecat şi cu baza în jos. Desigur, efectul era de natură fiziologică şi din multe motive neadevărat. El a mai fost observat şi în cazurile cînd munții de pe țărm aveau aproximativ aceeaşi înălțime ca şi Luna, dar dispărea atunci cînd triunghiul luminos inferior sau Luna era umbrită. Dacă observatorul îşi întorcea privirea, iar apoi privea din nou spre Lună, iluzia reapărea abia după cîteva secunde. Această poveste mi s-a părut atît de neverosimilă, încît ani hotărît s-o scot din ediția a II-a a acestei cărți. În mod neaşteptat însă am primit o descriere a unui astfel de fenomen, observat lîngă Oslo şi, ceva mai tîrziu, în Olanda. El a fost reprodus şi în laborator. S-a stabilit că fenomenul apare dacă cerul deasupra orizontului este slab iluminat, de exemplu datorită unui fum subțire.

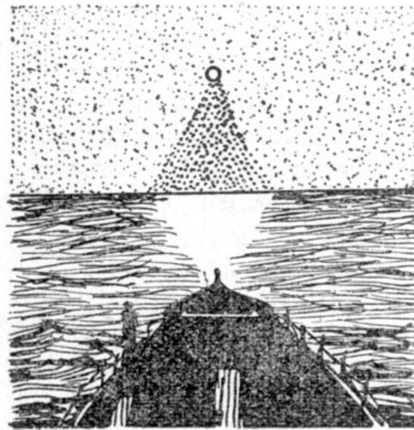


Fig. 104. Triunghi de contrast.

IX. Despre forma şi mişcare

113. Iluziile optice legate de determinarea poziţiei şi direcţiei[1]

Să presupunem că putem deosebi în cîmpul vizual două grupe de obiecte. În interiorul fiecărei grupe obiectele sînt aşezate fie paralel, fie perpendicular unul faţă de celălalt; totodată grupele sînt înclinate una faţă de cealaltă. În acest caz, o grupă va părea „predominantă" şi vom fi tentaţi s-o considerăm ca etalonul adevărat pentru determinarea direcţiilor orizontale şi verticale.

Dacă se întîmplă ca un tren să se oprească sau să-şi încetinească mersul la o cotitură şi, datorită acestui fapt, vagonul se înclină într-o parte, toţi stîlpii, casele şi turnurile ni se par înclinate în direcţia opusă. Noi ne dăm seama de poziţia înclinată a vagonului în care ne aflăm, dar numai pînă la un anumit grad.

Dacă pe coridorul înclinat al unui vapor legănat de valuri întîlnim o persoană, ea ni se pare înclinată faţă de verticală. Cînd coborîm pe panta unui munte, orizontul ne pare foarte ridicat.

„Navigam spre Olanda de-a lungul unui ţărm cu panta abruptă. Spre apus, marea era uşor agitată şi valurile se ridicau atît de sus, încît păreau să ameninţe ţărmul cu revărsarea" (dintr-o scrisoare a lui A. Ternerose, 1827).

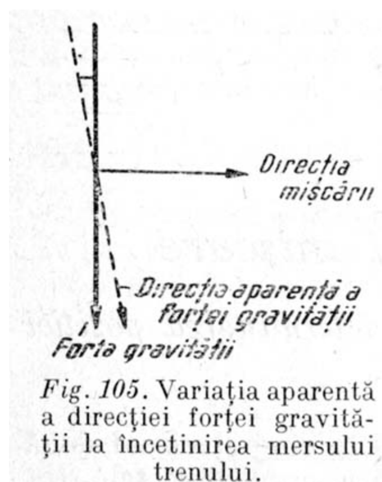


Fig. 105. Variaţia aparentă a direcţiei forţei gravităţii la încetinirea mersului trenului.

Un ciclist simte ceva asemănător cînd apreciază pantele mici ale şoselelor[2]. Porţiunea şoselei pe care merge îi apare întotdeauna perfect orizontală; cînd coboară de pe un deal, fîşiile de apă care se ivesc de o parte sau de alta a şoselei nu i se par orizontale, ci parcă se ridică în întîmpinarea sa. Pe o pantă lină, ciclistul are impresia că, în continuare, şoseaua urcă, deşi în realitate ea rămîne orizontală; un urcuş pare din depărtare mai abrupt, iar un coborîş lung — mai lin decît este în realitate. Ochiul observă în special cum variază în faţa noastră panta şoselei şi impresia vizuală este adeseori în discordanţă cu cea pe care o produce efortul depus la pedalare.

Mergînd o dată cu bicicleta de-a lungul unei şosele la înălţime mare, ceva mai la nord de Arnhem, am privit colina care se vedea în faţa mea, în sud, unde se află fabricile de cărămidă cu coşurile lor înalte. Deşi ştiam că aceste fabrici se află jos la şes, de-a lungul Rinului, aveam impresia că le văd pe vîrful colinei, la o înălţime mult mai mare decît cîmpia.

Astfel de senzaţii vizuale sînt întărite dacă la ele contribuie şi simţul echilibrului şi încordarea sistemului muscular. În timpul aterizării unui avion, pasagerii văd peisajul înclinat faţă de cabină şi totodată simt acţiunea combinată a forţei gravităţii şi a forţei centrifuge. Impresia vizuală devine din această cauză şi mai convingătoare.

Dacă un tren coteşte în plin mers, vedem cum toate obiectele verticale din peisaj par să se încline. Aici intervine impresia vizuală şi senzaţia musculară. Dacă trenul se opreşte brusc în această poziţie sau îşi încetineşte mersul, efectul dispare imediat.

O iluzie interesantă poate fi observată în tren în momentul frînării. Priviţi coşurile, casele, ramele ferestrelor sau orice alt obiect vertical. În clipa cînd trenul îşi încetineşte sensibil mersul, aveţi impresia că toate aceste linii verticale se înclină înainte; efectul este deosebit de pronunţat în clipa

[1] Luckiesh, Optical Illusions, New York, 1922.
[2] Bragg, The Univers of Light, London, 1933, p. 66.

premergătoare opririi complete a trenului, îndată după aceea, obiectele devin din nou drepte. În astfel de condiţii, chiar şi cîmpia orizontală ne apare pentru un moment înclinată, ca apoi să revină la poziţia obişnuită.

Explicaţia constă în aceea că la frînare simţim o uşoară înclinare înainte, ca şi cum s-ar modifica direcţia forţei gravităţii. Corespunzător cu senzaţia musculară a acestei „verticale" noi, obiectele înconjurătoare sînt şi ele înclinate înainte (fig. 105).

114. Cum vedem mişcarea

Se consideră, de obicei, că o mişcare devine observabilă atunci cînd vedem o modificare în poziţia unui obiect faţă de un punct fix. Aceasta însă nu este totdeauna adevărat: viteza poate fi sesizată, pur şi simplu, ca o senzaţie, asemănător cu întinderea sau durata. Privind norii în mişcare va faceţi de îndată o idee despre direcţia şi viteza lor.

S-a stabilit că omul poate observa chiar viteze de 1—2 minute de arc pe secundă, însă numai dacă în cîmpul vizual există puncte imobile (deşi s-ar putea să nu ne dăm seama că reperăm mişcarea faţă de ele). Dacă nu există astfel de puncte, observaţiile asupra vitezei devin de vreo 10 ori mai puţin precise. În acest caz, ca sistem de referinţă imobil serveşte ochiul nostru. Muşchii ochiului ne semnalizează că ochiul este în repaus şi astfel „vedem" cum se deplasează imaginile pe retină faţă de acest cadru muscular.

Urmărind norii care plutesc pe cer, încercaţi să determinaţi, chiar din primul moment al observaţiei, direcţia mişcării lor. Variaţi condiţiile: nori situaţi la mică altitudine şi la mare altitudine, vînt slab şi Vînt tare, pe vreme de Lună şi fără Lună. La viteza de 2 min/s, marginea norului mătura în 15 s întregul disc lunar.

Dacă privim o plasă cu ochiuri mari atîrnată pentru uscare, se poate urmări clar fiecare adiere a vîntului, însă este suficient să ne fixăm privirea asupra unuia din ochiuri, pentru ca mişcarea aerului să devină aproape imperceptibilă. După toate aparenţele, ochiul năvodului este foarte sensibil la un complex de mişcări mici, legate între ele. Acest lucru se poate observa pe un perete acoperit cu viţă de vie sălbatică, adiată de vînt.

115. Stelele mişcătoare[1]

În 1850 sau în jurul acestui an, a stîrnit senzaţie un fenomen curios: dacă privim cu atenţie o stea, se pare, uneori, că ea se mişcă înainte şi înapoi, schimbîndu-şi astfel poziţia. S-a stabilit că acest lucru se observă numai în amurg şi numai la stelele situate la cel mult 10° deasupra orizontului. Stelele strălucitoare se mişcă la început în impulsuri mici, paralel cu orizontul, apoi rămîn pe loc timp de 5—6 s şi, în sfîrşit, încep să se mişte înapoi în acelaşi fel. Mulţi observatori au văzut acest lucru atît de clar, încît au considerat fenomenul ca existent în mod obiectiv şi au încercat să-l explice prin prezenţa unor curenţi de aer cald.

Totuşi, aici nu poate fi vorba despre un fenomen fizic real. O mişcare reală de 1/2° pe secundă, vizibilă cu ochiul liber, poate fi mărită uşor pînă la 50° şi chiar mai mult cu ajutorul unui telescop de putere medie; aceasta înseamnă că stelele s-ar mişca înainte şi înapoi în cîmpul vizual ca nişte meteori. Orice astronom ştie că aceasta este o absurditate totală. Chiar şi în cazul unor perturbaţii atmosferice foarte mari, deplasările datorite licăririi rămîn sub limitele observabile cu ochiul liber. Din punct de vedere psihologic însă, fenomenul nu şi-a pierdut însemnătatea. El poate fi condiţionat de lipsa unor obiecte în raport cu care să putem stabili uşor poziţia stelelor. Noi nu ne dăm seama că ochiul nostru execută în mod constant şi inconştient mici mişcări şi, de aceea, este natural să atribuim deplasarea imaginii pe retină unei deplasări a sursei de lumină.

Fenomenul poate fi observat relativ lesne. În acest scop, trebuie să ne găsim o poziţie comodă în aer liber şi să observăm, cu atenţie, una din primele stele care apar pe cer. Eu, personal, văd oscilaţii lente înainte şi înapoi de 1/2°; unii observatori văd oscilaţii mai mari.

Odată cineva m-a întrebat de ce atunci cînd urmărim atent cu privirea un avion foarte îndepărtat, se pare, totdeauna, că el se mişcă în mici impulsuri. Aici, desigur, intervine aceeaşi cauză psihologică ca şi în cazul stelelor „mişcătoare"; termenul de „foarte îndepărtat" arată, după toate aparenţele, că fenomenul se observă cel mai uşor aproape de orizont.

Dar cum se poate explica oare faptul că trei oameni au observat pe neaşteptate şi în acelaşi

---

[1] „Pogg. Ann.", **92,** 655, 1857. Primele observaţii în această direcţie îi aparţin lui A. Humboldt. Literatura mai recentă care se referă la reprezentările vizuale autocinetice se găseşte în Handbuch d. Phys., 20, Physiologische Optik, 174.

timp, cum „dansa" Luna mişcîndu-se în sus şi în jos, şi, încă timp de aproape 30 min?[1]

116. Rotirea peisajului. Luna ne urmăreşte

„Mersul cu iuţeală de melc al trenului îţi dădea impresia că oraşelul se învîrte încet; parcă toate clădirile ciudate din cuprinsul lui se roteau în jurul unui punct nevăzut..."
(M. Gorki Viaţa lui Clim Samghin vol. I, cap. V)

Să ne fixăm atenţia"asupra a doi copaci său a două case care se află la distanţe diferite de noi. Îndată ce ne deplasăm se pare că obiectul îndepărtat se mişcă o dată cu noi, iar cel apropiat rămîne pe loc. Acesta este exemplul cel mai simplu de paralaxă.

Rotaţia peisajului a fost una din primele impresii care m-au uimit încă de mic copil cînd călătoream cu trenul. Să presupunem că privesc spre dreaptă; în acest caz, toate obiectele apropiate de tren se deplasează şi ele spre dreapta, iar obiectele îndepărtate se mişcă împreună cu mine spre stînga. Se pare că întreaga imagine se roteşte în jurul unui punct imaginar, acela spre care mi-am fixat întîmplător privirea. Independent de faptul dacă mă uit la un obiect apropiat sau la unul îndepărtat, toate obiectele aşezate dincolo de acest punct se mişcă împreună cu mine, iar cele aşezate în faţa lui rămîn în urmă. Încercaţi să faceţi singuri această experienţă. Este clar că aceste imagini vizuale apar datorită paralaxei; nou este faptul că noi legăm totul de punctul spre care este fixată privirea noastră. În aceasta constă particularitatea de ordin psihologic a observaţiilor noastre vizuale. Fie că mergem pe jos, fie că mergem cu bicicleta sau cu trenul, noi vedem totdeauna Luna însoţindu-ne, credincioasă, de la distanţă. Acelasi lucru se întîmplă şi cu Soarele şi cu stelele, numai că noi nu sîntem obişnuiţi să observăm aceasta. Toate acestea arată, că atenţia noastră este îndreptată spre peisaj şi, datorită paralaxei, ni se pare că corpurile cereşti se mişcă împreună cu noi faţă de peisaj.

117. Iluzii legate de repaus şi de mişcare

„Priveşte prin parapetul podului şi vei vedea cum podul pluteşte pe apa nemişcată".
(Maximă chinezească)

„Aşa cum Garisenda ţi s-arată, cînd stai sub ea şi-un nor spre dînsa vine, că tot mai mult spre tine-o vezi plecată..."
(Dante, Infernul, cîntul XXXI)

Vă este, desigur, binecunoscută iluzia care apare cînd prin geamul unui vagon care stă pe loc priviţi cum se pune în mişcare un tren vecin. Pentru o clipă vi se pare că trenul în care vă aflaţi porneşte încet din staţie. Dacă privim un timp oarecare norii care se mişcă deasupra unui turn înalt, avem impresia că norii stau pe loc, iar turnul se mişcă. Tot astfel se poate vedea cum Luna goneşte deasupra maselor de nori imobile. Cînd treceţi peste un pîrîu pe un podeţ îngust, fiţi atenţi! Pentru a evita ameţeala, nu vă uitaţi la apa care curge: concepţiile noastre despre repaus şi mişcare sînt perturbate aici din cauză că o parte neobişnuit de mare a cîmpului nostru vizual se află în mişcare. În timpul primei călătorii pe mare, veţi vedea cum obiectele care atîrnă în cabină se balansează înainte şi înapoi, iar cabina rămîne în repaus.

În toate aceste cazuri, iluzia este strîns legată de cea descrisă în § 113. Cercetări psihologice mai profunde au arătat că noi înclinăm să considerăm ca mobile acele obiecte, care, precum ştim din experienţă, sînt în mod obişnuit elementele mobile ale peisajului. În afară de aceasta, aici acţionează o altă lege, foarte importantă şi de natură mai generală; noi legăm în mod automat imaginea de repaus de spaţiul mai întins, de elementele care mărginesc cîmpul vizual, în timp ce mişcarea este legată în mod automat de elementele care se află în interiorul acestui cadru, într-o serie din cazurile enumerate mai înainte, această de-a doua lege se opune primei legi şi, aşa cum arată iluziile, ea învinge experienţa noastră zilnică.

Stau la geamul unui vagon de tren şi privesc visător pămîntul care fuge. Cînd trenul s-a oprit deja şi sînt ferm convins că el stă pe loc, continui totuşi să am senzaţia certă că pămîntul se mişcă încet înainte. Această senzaţie nu atinge însă o asemenea intensitate, încît să determine deplasarea, cu aceeaşi viteză, a întregului cîmp vizual. Mai aproape de mine, mişcarea pare mai rapidă, ceva mai departe ea pare mai lentă; ceva mai la dreapta sau mai la stînga de punctul pe care-l privesc, mişcarea mi se pare, de asemenea, mai încetinită. Avem impresia că întregul peisaj se roteşte încet în jurul acestui punct, dilatîndu-se şi contractîndu-se în rotaţie ca un corp elastic. Această rotaţie are loc într-o direcţie opusă celei care se observă în timpul mişcării trenului (§116). Ar fi interesant să trecem repede

[1] „Nature", 38, 102, 1888.

la geamul opus, în momentul opririi trenului; în acest caz, rotația trebuie să se producă în direcția inițială.

E de presupus că mușchii ochiului s-au obișnuit să urmeze inconștient obiectele care trec pe lîngă noi, iar atunci cînd trenul se oprește, aceste mișcări involuntare nu încetează brusc, astfel încît, un timp oarecare, noi adăugăm parcă, la vitezele reale o „viteză compensatoare" constantă. Totuși numai prin mișcarea ochiului nu putem explica nici măcar de ce spre marginile cîmpului vizual viteza variază așa precum am arătat și nu altfel.

Au fost efectuate experiențe care constau în aceea că observatorul privea un timp oarecare obiecte mici care se mișcau în mod continuu dintr-un anumit punct central în toate direcțiile. Cînd mișcarea înceta, se părea că punctele luminoase se întorc din toate părțile înapoi spre centru. Probabil că acest lucru nu poate fi explicat numai prin mișcarea ochiului. Se pare mai curînd că „conștiința" noastră, obișnuită să atribuie vitezei o anumită valoare în fiecare porțiune a cîmpului vizual, continuă să facă acest lucru și după ce mișcarea a încetat.

Dacă ne fixăm privirea asupra unei mici pete de pe geamul vagonului, eliminînd astfel mișcarea ochiului, fenomenul descris mai sus apare totuși, cu condiția ca viteza trenului să nu fie atît de mare încît obiectele exterioare să se contopească într-o fîșie continuă.

Pe de altă parte, o observație veche a lui Brewster demonstrează categoric existența mișcărilor involuntare ale ochiului. Pietricelele mici, vizibile prin geamul trenului, luau în apropierea terasamentului forma unor benzi alungite scurte, însă dacă privirea trecea rapid ceva mai departe, pietricelele apăreau pentru o clipă nemișcate, iluminate parcă de o scînteie electrică. După părerea mea, aceasta demonstrează definitiv că ochiul nostru urmează, într-adevăr, obiectul în mișcare, deși nu exact cu aceeași viteză.

Brewster a făcut și o altă observație. Privind pietrele care treceau pe lîngă el, printr-o fantă îngustă făcută într-o foaie de hîrtie, el a observat că dacă ridica brusc ochii, continuînd să privească prin fantă astfel încît imaginea pietrelor sa ajungă în cîmpul vizual lateral, totul devenea pentru o clipă foarte clar. Paragraful 99 ne ajută să înțelegem acest lucru.

Ocolind prin stînga un teren de joc îngrădit printr-un gard foarte lung, întorc capul spre dreapta și privesc copiii. După un minut sau două mă uit din nou drept înainte și văd cum pietrele de pe stradă și alte obiecte așezate în fața mea se mișcă de la dreapta spre stînga. Cînd încerc să repet experiența, privind tot timpul nu spre copii, ci spre gard, efectul apare mult mai slab. Efectuînd astfel de observații, veți constata, de obicei că nu este necesar să urmăriți înseși obiectele care se mișcă; cel mai bine este să priviți un anumit fond neutru, în timp ce pe retină cad imagini cu contraste [s] nete de lumină și întuneric.

Urmăresc căderea fulgilor de zăpadă. Privind un fulg, ridic repede privirea și aleg un altul, și tot astfel timp de cîteva minute. Dacă privesc acum pămîntul acoperit de zăpadă, am senzația că acesta se ridică, iar eu mă scufund.

Priviți cîteva minute suprafața unui rîu cu apa repede său sloiurile de gheață care plutesc pe apă, fără a pierde din ochi, în timpul acesta vîrful unui stîlp de debarcader sau un punct oarecare de pe o insulă. Dacă priviți acum din nou pămîntul, veți vedea că el se mișcă în sens opus cu apa rîului. După ce ați admirat un timp oarecare o cascadă, vi se va părea că malurile sale se ridică în sus. Într-un alt caz priveam țintă o cascadă înaltă și îngustă, iar apoi îmi întorceam privirea spre panta lină a unui munte vecin. Mi se părea că o fîșie verticală îngustă alunecă în sus. Privind prin fereastră un lung șir de călăreți, Purkinje avea impresia că de-a lungul drumului casele se mișcă în direcție contrarie. Cînd mergeți pe un cîmp, pe o cărare îngustă și priviți Luna îndepărtată, condițiile sînt foarte prielnice pentru apariția acestei iluzii.

Pe scurt, aceste condiții sînt: a) mișcarea trebuie să dureze cel puțin un minut; b) ea nu trebuie să fie prea rapidă; c) ochiul trebuie să fie îndreptat tot timpul asupra unui obiect mobil sau imobil, și anume astfel, încît imaginile care ajung la retină să prezinte un contrast puternic și amănuntele să fie clar conturate.

118. Stelele duble „oscilante"

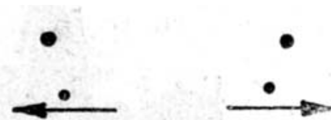


Fig. 106. Stelele duble par să oscileze, dacă le privim printr-un binoclu de teatru, pe care-l mişcăm la dreapta şi la stînga.

Acest fenomen a fost observat de cunoscutul fizician W. Herschel. Priviţi printr-un binoclu de teatru obişnuit penultima stea din „osia" Carului Mare. Veţi vedea clar o stea slabă şi una strălucitoare (fig. 71, 88). Este bine ca această experienţă să fie efectuată atunci cînd steaua slabă se află mai mult sau mai puţin vertical sub cea strălucitoare (deşi fenomenul poate fi observat şi într-o altă poziţie a stelei). Mişcaţi puţin binoclul la început spre stînga, apoi spre dreapta, iar apoi din nou spre stînga şi, aşa mai departe, cu o asemenea viteză, încît imaginile stelelor să se transforme în mici pete luminoase. Veţi avea impresia că steaua slabă rămîne de fiecare dată puţin în urma celei strălucitoare, ca şi cum ar fi legată de ea cu o sfoară şi ar executa o mişcare oscilatorie (fig. 106).

Explicaţia constă în aceea că lumina are nevoie de un anumit timp pentru ca sa excite retina, şi cu cît steaua este mai strălucitoare, cu atît acest timp este mai scurt. În timpul necesar pentru determinarea poziţiei stelei slabe, steaua strălucitoare reuşeşte să se mişte puţin mai departe.

Acest fenomen a fost folosit recent de Pulfrich, la construcţia unui nou tip de fotometru.

119. Iluzii optice care se referă la direcţia de rotaţie[1]

Privind în amurg o moară de vînt sub un anumit unghi faţă de planul aripilor ei rotitoare (fig. 107a), nu ne putem da seama dacă ele se rotesc în sensul acelor unui ceasornic sau în sens opus (fig. 107b). Pentru a înlocui o direcţie de rotaţie cu cealaltă, trebuie să ne concentrăm pentru o clipă atenţia; de obicei însă este suficient să continuăm liniştit observaţiile pînă ce ni se pare că rotaţia şi-a schimbat sensul de la sine.

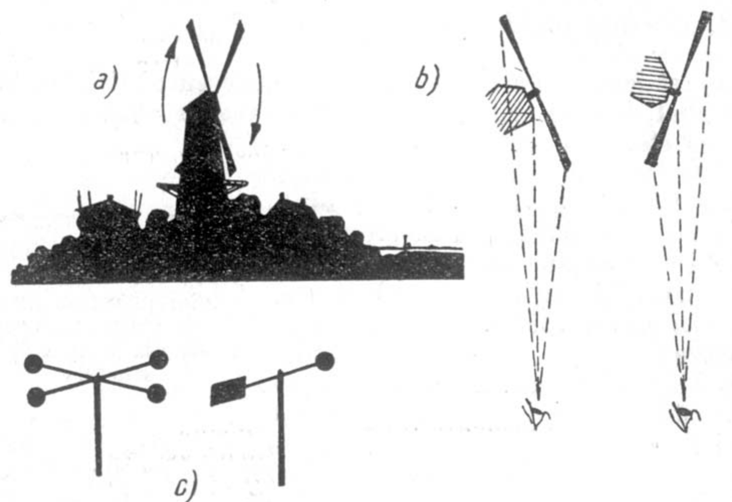


Fig. 107. Silueta unei mori de vînt în amurg: *a)* ceea ce vede observatorul; *b)* cum poate el intepreta observaţiile sale; *c)* alte forme aparente.

Multe staţii meteorologice sînt utilate cu anemometrul lui Robinson, adică o mică moară de vînt cu o axă verticală de rotaţie. Privind din depărtare aripile care se rotesc, avem impresia că ele îşi schimbă de la sine direcţia de rotaţie, la fiecare 25—30 s. Tot astfel poate să ne inducă în eroare şi o giruetă rotitoare, în special dacă ea nu este fixată prea sus (fig. 107c).

---

[1] „Hemel en Dampkring", 29, 348, 380, 413, 1931.

În toate aceste cazuri, concluzia noastră despre direcția de rotație depinde de partea traiectoriei care pare mai aproape de noi. Acea parte care, întîmplător, ne atrage mai mult atenția pare, în general, mai apropiată. De aceea modificarea direcției aparente de rotație trebuie atribuită schimbării bruște a atenției noastre.

120. Fenomene stereoscopice

Dacă priviți prin geamul unui vagon de tren a cărui sticlă nu este de calitate prea bună, puteți observa un fenomen curios. Așteptați pînă ce trenul se oprește și priviți, cu atenție, pietrele din apropierea terasamentului. Ținînd capul drept, apropiați fața de geam și renunțați la ideea preconcepută că Pămîntul trebuie să pară plan. Veți observa brusc că el apare ondulat și încă într-o măsură apreciabilă. Dacă mișcați încet capul paralel cu geamul, „ondulațiile" se deplasează pe Pămînt în direcție contrarie, dacă însă vă îndepărtați de geam, ele aproape că nu pierd din înălțime, dar devin mai largi.

Explicația constă în aceea ca geamul de sticlă nu este perfect plan; grosimea sa variază, deși nu apreciabil. De obicei aceste neuniformități sînt paralele cu o anumită direcție, deoarece sticla se fabrică prin laminarea unei mase de sticlă topite între valțuri de oțel. O astfel de neuniformitate este echivalentă cu o prismă cu un unghi de refracție mic și produce o anumită deviere a razelor de lumină. Dacă în fig. 108 ochii L și R sînt îndreptați spre punctul A pe Pămînt, grosimea neuniformă a sticlei nu se observă. Dacă însă privim în punctul B, raza BR nu mai este dreaptă; ea este refractată și urmează linia BCR. În consecință, privirea pare orientată astfel ca și cum ar fi ațintită asupra punctului B', situat mai aproape de noi decît B. Într-o altă parte a sticlei, devierea razelor va fi alta și obiectul pare, dimpotrivă, îndepărtat. Acest lucru ne permite să înțelegem de ce o mică neuniformitate a sticlei generează iluzia unei ondulații apreciabile a obiectelor exterioare, deși, uneori modul de combinare a imaginilor obținute în ochiul nostru este destul de complicat.

Dacă, de exemplu, ochiul stîng privește printr-o porțiune uniformă, iar cel drept printr-o porțiune neuniformă a sticlei, se pot urmări ușor detaliile apariției efectului stereoscopic, închideți ochiul stîng și clătinați-vă capul. Imaginea se clatină în același sens acolo unde sticla este concavă (M, fig. 108) și în sens contrar acolo unde ea este convexă (O). (De ce?) Dacă deschidem, acum, ambii ochi, părțile M și O corespund locurilor de pe Pămînt pe care le vedem la distanțe normale. Privind cu ochiul drept prin N, vom vedea o ridicătură, iar prin P — o adîncitură, încercați să verificați toate acestea singur, urmărind cu atenție toate amănuntele.

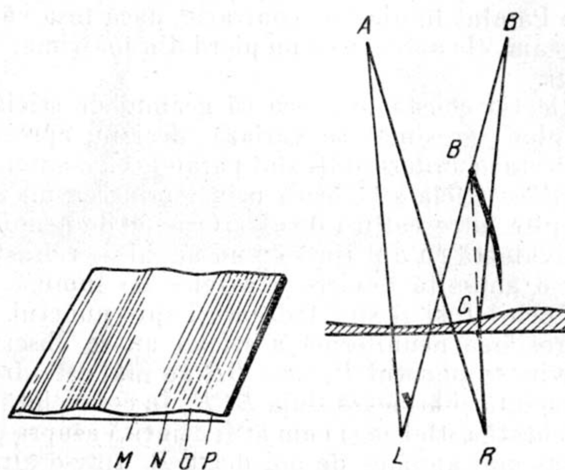


Fig. 108. Pămîntul pare ondulat dacă îl privim printr-o sticlă de grosime neuniformă.

Putem observa un fenomen strîns legat de cel descris mai sus, stînd aproape de o suprafață de apă ușor încrețită. Ne propunem să găsim, de exemplu, imaginea unei ramuri de copac. Deoarece cei doi ochi nu sînt îndreptați asupra aceluiași punct al suprafeței ondulate, cele două imagini vor fi văzute la distanțe unghiulare una de cealaltă care variază neîncetat. Aceasta produce o senzație foarte curioasă, care cu greu poate fi descrisă, îndată ce închidem un ochi, suprafața devine abia perceptibilă și putem să ne închipuim că vedem chiar copacul care freamătă în vînt și nu imaginea sa. Dacă privim din nou cu ambii ochi, vedem deodată suprafața acoperită de încrețituri strălucitoare; strălucirea este caracteristică pentru cazurile cînd percepem simultan două imagini care diferă sensibil: cu un ochi o

imagine luminoasă, iar cu celălalt o imagine întunecată.

121. Iluzii de distanţă şi mărime

Văzută de aproape, o giruetă care decorează vîrfurile turnurilor, ni se pare neobişnuit de mare. Cînd un pictor aureşte săgeţile ceasului de pe un turn înalt, el ne pare, dimpotrivă, mic ca o păpuşă. Tot atît de mici ni se par oamenii care se plimbă pe platforma unui turn.

Deşi statuia Victoriei de pe faţada Muzeului din Amsterdam are o înălţime de 2,2 m, ea ni se parc mai mică decît statura unui om. Cele două figuri de om de pe ceasurile de aur ale clădirii muzeului au un diametru de 1,52 m şi nouă ni se par jucării. În toate aceste cazuri noi subapreciem distanţa la care se află obiectele observate şi, de aceea, ele ni se par atît de mici.

Acelaşi gen de iluzii apar la observarea Soarelui şi Lunii, însă aici problemele sînt mai complicate.

122. „Omuleţul" de pe Lună

„Omuleţul" de pe Lună constituie un bun avertisment pentru cei care efectuează observaţii fără obiectivitatea necesară. Petele întunecate şi luminoase de pe Lună sînt în realitate şesuri şi munţi distribuite, desigur, cu totul arbitrar pe suprafaţa satelitului nostru. În mod inconştient noi tindem să deosebim în această distribuţie de lumină ciudată forme mai mult sau mai puţin obişnuite; ne fixăm atenţia asupra unor amănunte care devin astfel mai clare şi mai pregnante, în timp ce detaliile cărora nu le-am acordat atenţie rămîn ascunse. De exemplu, pe Luna plină se poate distinge o figură omenească cel puţin sub trei aspecte: din profil, din trei sferturi şi din faţă; se poate distinge de asemenea o figură de femeie, o babă cu o legătură de surcele, un iepure, un rac ş.a.

Iluzii de acest gen au stăpînit şi pe cei mai buni observatori ; cazul cunoscut al canalelor de pe Marte este numai unul din exemple. Acest lucru trebuie avut în vedere şi în legătură cu multiplele descrieri fantastice de miraje şi de fata morgana.

123. Curbarea razei reflectorului. Şirurile de nori

Un reflector aruncă un fascicul îngust de raze orizontale deasupra unui spaţiu larg deschis. Deşi ştiu că raza se propagă riguros după o linie dreaptă, nu mă pot dezbăra de iluzia că ea este curbată, fiind mai ridicată la mijloc şi mai coborîtă la capete. Există un singur mijloc prin care mă pot convinge că raza este într-adevăr dreaptă: ţinînd în faţa ochilor un bastonaş.

Care este cauza acestei iluzii? Sînt înclinat să consider că lumina se propagă după o linie curbă, datorită faptului că într-o parte văd raza coborînd spre dreapta, iar în cealaltă parte spre stîngă; în acelaşi timp însă, uit că pentru a urmări raza a trebuit să-mi întorc capul. Oare liniile drepte ale firelor de telegraf, care sînt în mod obişnuit orizontale, se comportă altfel? Noaptea însă, privind razele luminoase, nu văd obiectele înconjurătoare care ar putea sa mă ajute sa evaluez distanţele, iar despre forma razei nu ştiu nimic dinainte.

Un fenomen asemănător poate fi observat privind noaptea de-a lungul unui şir de felinare de stradă înalte, în special atunci cînd nu există un şir paralel de case în apropiere sau cînd casele sînt ascunse după copaci. Şirul de lumini pare curbat ca şi raza unui reflector. În legătură cu aceasta amintim şi următoarea observaţie care se poate face între primul pătrar şi Luna plină: dreapta care uneşte vîrfurile secerii lunare nu pare nicidecum perpendiculară la dreapta care uneşte Soarele cu Luna. Ni se pare că perpendiculara trebuie să se curbeze pentru a ajunge la Soare. Fixaţi direcţia, întinzînd în faţa ochilor o bucată de sfoară. Oricît de straniu ar părea aceasta la început, veţi observa că dreptele sînt perpendiculare!

Un şir de nori care pornesc divergent de la orizont şi se întîlnesc din nou la celălalt capăt al bolţii cereşti se propagă în realitate în linie dreaptă, orizontal şi paralel între ei (vezi, de asemenea, fotografia XIII).

Dacă stăm noaptea în apropierea unui far, cu spatele la el, putem observa un fenomen foarte interesant. Se pare că razele lungi, care se întind deasupra regiunii, converg într-un punct imaginar, „antisursa", aşezată undeva sub orizont, şi se rotesc în jurul acestui punct[1]. Observînd una din aceste raze, putem ajunge doar la concluzia că ea se află în planul determinat de poziţia ei reală în spaţiu şi

---

[1] G. Golange, Y. Le Grand, „G.R.", Paris, 204, 1882, 1937 ; autorii emit părerea greşită că acest fenomen este vizibil numai în condiţii excepţionale, cum ar fi cele create de farul puternic de la Belle Isle. Însă acest fenomen poate fi tot atît de bine observat în apropierea unui far slab ca cel de la Koog din Olanda (vezi G. Ten Doesschaţe, F. P, Fischer, „Ann, d'Oculistique", 170, 103, 1939).

punctul ocupat de ochiul nostru. La rotirea razei, poziția acestui plan în spațiu variază neîncetat, dar el continuă să treacă prin dreapta care uneşte farul, ochiul şi „antisursa". Aşadar, în loc să consider razele ca drepte orizontale care pornesc dintr-un punct din spatele meu, eu pot să-mi imaginez că văd partea superioară a razelor rotindu-se în jurul „antisursei" aşezată dincolo de orizont. Faptul că, în mod inconştient, eu fac legătură între aceste raze şi un al doilea punct este remarcabil din punct de vedere psihologic şi se datoreşte tendinței noastre de a uni razele convergente şi de a le prelungi pînă în punctul de convergență.

Aici ne ajută de asemenea şi „subaprecierea distanțelor" (§ 129), datorită căreia se pare că fasciculul luminos nu se întinde la infinit, ci converge spre un punct care se află la o anumită distanță de ochiul nostru.

Dacă stăm sub un unghi drept față de direcția la far şi privim în sus, putem observa că fiecare fascicul luminos parcă se contractă şi ni se pare că razele de lumină venite de la felinar şi raza „antisursei" se înalță brusc şi se întîlnesc undeva la zenit.

124. Turtirea aparentă a bolții cereşti[1]

Cînd stăm pe o cîmpie deschisă şi privim cerul, el de obicei nu pare infinit şi nici nu creează impresia unei emisfere complete, care acoperă Pămîntul, ci ne aminteşte mai curînd de o

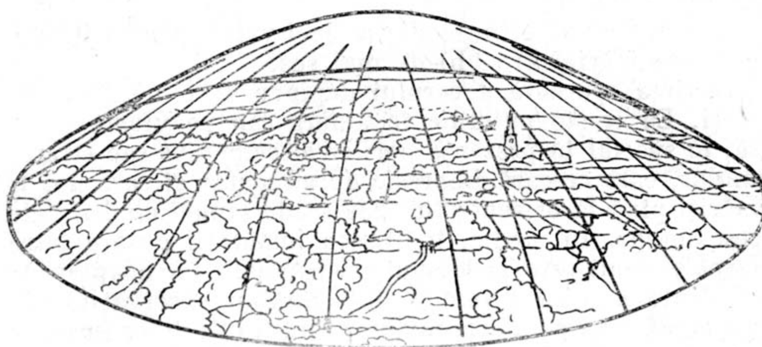


Fig. 109. Cerul pare să acopere Pămîntul ca o cupolă.

boltă, a cărei înălțime deasupra capului este mai mică decît distanța între noi şi orizont (fig. 109). Aceasta nu este altceva decît o închipuire, însă pentru mulți ea este convingătoare; ea trebuie explicată nu prin factori fizici, ci prin factori psihici.

Evident că această turtire nu poate fi măsurată prin nici un mijloc; dar ea poate fi însă evaluată:

a) Să începem cu problema determinării raportului distanțelor „ochi-orizont" şi „ochi-zenit". În majoritatea cazurilor acest raport este cuprins între 2 şi 4, în funcție de observator şi de împrejurările în care se fac observațiile.
b) Să determinăm, în măsura posibilităților, direcția în care se găseşte mijlocul arcului care uneşte zenitul cu orizontul. Măsurînd poziția acestui punct, vom constata, cu surprindere, că el se află nu la înălțimea de 45°, ci mult mai jos, în general la 20—30°; rareori s-a indicate înălțime mai mică, pînă la 12°, sau mai mare, pînă la 45°.

Este important de a găsi un observator care nu are idei preconcepute şi pentru care să fie clar că ceea ce trebuie împărțit în două nu este unghiul, ci arcul. De asemenea, este foarte important de a determina în mod corect poziția zenitului: metoda cea mai bună pentru aceasta este de a sta cu fața îndreptată la început spre un punct cardinal, iar apoi spre celălalt, şi de a vedea dacă evaluările obținute concordă între ele.

Este indicat să se ia media a cinci valori pentru fiecare din determinările a) şi b) de mai sus.

Turtirea aparentă a cerului depinde de o mulțime de factori. Ea creste puternic în amurg sau pe vreme înnorată, în special în prezența norilor altocumulus sau strato-cumulus, care creează impresie de adîncime şi care pot fi urmăriți pînă la orizont; turtirea scade atunci cînd stelele lucesc intens. În medie, înălțimea jumătății de arc între orizont şi zenit este în timpul zilei de 22°, iar noaptea de 30°. Menționăm că o valoare deosebită au observațiile de acest gen făcute pe mare, unde orizontul este liber

[1] O literatură foarte bogată în acesată problemă ca şi în cele următoare se găseşte la A. Muller, Die Referenzflachen der Sonne und Gestirne; E. Reimann, „Zs. f. Psych. u. Physiol. Der Sinnesorgane", 1920; R. Sterneck, Der Sehräum auf Grund der Erfahrung, Leipzig, 1907.

în toate direcţiile, unde nimic nu distrage atenţia şi nu perturbă evaluarea.

Printr-o bucată de sticlă roşie (suficient de mare pentru ca marginile ei să nu influenţeze observaţiile) cerul pare mai plan, iar printr-o sticlă albastră, mai înalt şi mai bombat.

Analiza amănunţită a evaluărilor făcute ne poate furniza informaţii mai precise despre forma pe care o atribuim în mod inconştient cerului. Multor observatori bolta cerească li se pare ca o casă (fig. 109).

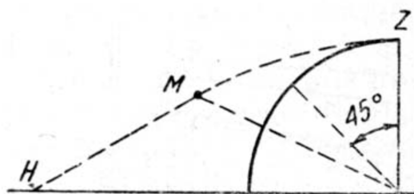


Fig. 110. Împărţirea în două a arcului imaginar care uneşte zenitul cu orizontul.

125. Supra-aprecierea înălţimii unghiulare (fig.110)

Turtirea aparentă a bolţii cereşti este, probabil, legată de faptul că noi supra-apreciem, în general, înălţimea unghiulară deasupra orizontului. Este clar că măsurarea arcului o confundăm, întotdeauna în mod inconştient cu măsurarea unghiului ; punctul M, ales astfel încît HM = MZ, se află mult sub 45° deasupra orizontului, deşi nouă ni se pare că se află la mijloc între orizont şi zenit.

Iarna, la amiază, ni se pare că Soarele stă destul de sus pe cer, deşi la latitudinile noastre înălţimea sa este doar de 15° deasupra orizontului. Vara el ne apare aproape de zenit, în timp ce, în realitate, înălţimea sa atinge abia 61°.

În mod asemănător, supra-apreciem înălţimea colinelor şi pantele din faţa noastră. Un observator a descris chiar cazul cînd un halo de 22° în jurul Soarelui sau Lunii (§ 150) părea mai mare pe verticală decît pe orizontală.

Căutaţi seara o stea aproape de zenit, întoarceţi-vă cu 180° şi uitaţi-vă încă o dată la aceeaşi stea. Veţi fi surprinşi sa vedeţi cît de departe este ea acum de zenit, înălţimea ei este de aproximativ 70°!

126. Creşterea aparentă a dimensiunilor Soarelui şi Lunii aproape de orizont

Aceasta este una din iluziile optice cele mai puternice şi cele mai bine cunoscute. Luna care se ridică poate fi foarte mare, însă în înaltul cerului ea devine incomparabil mai mică. Iar Soarele care apune, „uriaş şi roşu ca sîngele, tot creşte şi creşte".

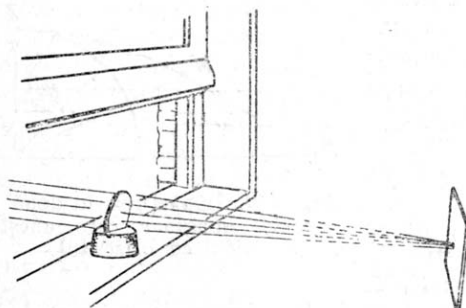


Fig. 111. Obţinerea imaginii Soarelui cu ajutorul unei lentile de ochelari cu distanţa focală mare.



Fig. 112. Lentila de ochelari fixată cu ajutorul unui dop pe un copac.

Dar, la urma urmei, este oare aceasta o iluzie? Să încercăm să măsurăm, proiecţia discului solar. Pentru aceasta să luăm o lentila[1] cu distanţa focală de circa 2 m şi s-o fixăm într-o fantă tăiată într-un dop pe care-l aşezăm pe o fereastră iluminată de razele Soarelui care apune (fig. III). Fereastra

[1] Opticienii numesc astfel de lentile, lentile „+0,50". Cereţi lentile circulare cu marginile neprelucrate.

trebuie să fie deschisă, căci prin geamul ferestrei imaginea obţinută este mai puţin clară. Ţinînd o foaie de hîrtie la circa 2m în spatele lentilei, vom obţine pe hîrtie o imagine foarte clară a Soarelui. Dacă ea nu este perfect circulară, înseamnă că lentila nu este exact perpendiculară la razele incidente; în acest caz o vom înclina uşor şi o vom roti în diferite direcţii. După ce am găsit în sfîrşit poziţia optimă a hîrtiei, astfel încît imaginea Soarelui să fie cît mai net conturată, însemnăm diametrul imaginii cu un creion şi-l măsurăm cu o riglă cu o precizie pînă la 0,5 mm. Este preferabil de a măsura diametrul pe orizontală, deoarece pe verticală el ar putea să fie contractat puţin, datorită refracţiei în atmosferă. Vom repeta aceste măsurători de cîteva ori şi vom determina valoarea medie.

Să efectuăm apoi aceeaşi experienţă cînd Soarele este sus pe cer. Dispozitivul va fi oarecum diferit. Vom fixa dopul cu. lentila montată pe el sus pe un stîlp. Alegînd pe stîlp direcţia potrivită şi rotind dopul, vom putea fixa lentila aproape perpendicular pe razele luminoase (fig. 112). Să măsurăm acum imaginea Soarelui; considerînd şi erorile de observaţie, vom constata că ea are aceeaşi mărime ca şi în cazul cînd Soarele era aproape de orizont. Nici observaţiile cele mai precise, efectuate cu ajutorul unor telescoape puternice, nu au dat vreo diferenţă.

Aşadar, creşterea dimensiunilor Soarelui şi Lunii aproape de orizont este un fenomen psihic, însă şi acest fenomen se supune anumitor legi şi poate fi evaluat cantitativ. Luaţi un disc de carton alb cu diametrul de 30 cm şi staţi la o asemenea distanţă în faţa lui, încît mărimea sa să coincidă cu mărimea discului lunar. Desigur, aprecierea egalităţii mărimilor nu trebuie făcută printr-o comparare directă, căci atunci, ca şi în cazul măsurătorilor, veţi constata că această mărime a Lunii rămîne totdeauna neschimbată. De aceea, priviţi mai întîi spre Lună, căutînd să vă întipăriţi în memorie dimensiunile ei, iar apoi întorcîndu-vă comparaţi imaginea pe care v-aţi făcut-o cu dimensiunile vizibile ale discului de carton. Şi mai bine este să fixaţi o serie de discuri albe pe un fond negru, iar apoi să vă îndepărtaţi, oprindu-vă totdeauna la aceeaşi distanţă de ele. Efectuaţi aceste evaluări şi atunci cînd Luna este sus pe cer, şi atunci cînd ea este jos.

Astfel de evaluări pot fi făcute şi pentru Soare. Pentru a nu fi orbiţi de razele lui, folosiţi o sticlă întunecată, de exemplu, o placă fotografică puternic înnegrită, iar discurile priviţi-le cu ochiul liber. Observaţiile sînt îngreuiate de faptul că fenomenul psihic este influenţat de o mulţime de factori nesesizabili; se schimbă atenţia pe care o acordaţi observaţiilor etc. Remarcaţi cu cît mai bine merg lucrurile după o oarecare obişnuinţă!

Cifrele obţinute pe această cale arată că Soarele şi Luna în apropierea orizontului par de 2,5—3,5 ori mai mari decît în înaltul cerului. Deosebirea între fenomenul fizic şi psihologic este uimitoare! în amurg şi pe un cer înnorat, efectul este şi mai puternic.

Creşterea aparentă a dimensiunilor Soarelui care apune ne atrage atenţia mult mai mult la şes decît la munte; la mare, însă, creşterea este considerabil mai mică[1].

Şi stelele par la orizont mai mari; chiar şi figurile lui Haidinger (§ 200) par în această poziţie de două ori mai largi şi mai lungi, decît atuncea cînd astrul este sus pe cer.

Priviţi Luna prin inelul format de degetele mare şi arătător sau printr-un tub; Luna va părea mai mică. Oamenilor cu un singur ochi, Soarele şi Luna nu li se par mai mari la orizont. Dacă acoperim, un ochi cu un bandaj întunecat, iluzia se păstrează un timp oarecare, însă spre sfîrşitul serii ea dispare.

127. Legătura dintre creşterea aparentă a dimensiunilor corpurilor cereşti situate aproape de orizont şi forma bolţii cereşti (fig. 113)

Au fost făcute încercări de a reduce fenomenul descris mai sus la turtirea aparentă a bolţii cereşti. Ideea constă în aceea că ne închipuim Soarele şi Luna la aceeaşi distanţă de noi ca şi cerul înconjurător; de aceea Soarele, cînd este jos, pare mult mai mare decît atunci cînd este sus pe cer şi, în măsura în care diametrul său unghiular rămîne acelaşi, noi îi atribuim, în mod inconştient o mărime de cîteva ori mai mare. Din fig. 113 vedem că la un unghi a egal pentru ambele poziţii ale Soarelui ($\alpha_1 = \alpha_2$)

[1] Vezi V. Gornich, Scenery and the Sense of Sight, cap. II, unde se găseşte o teorie interesantă a acestui fenomen.

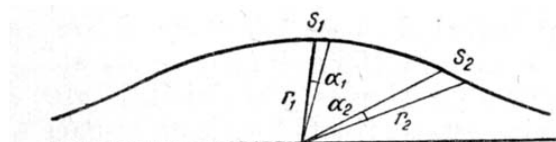


Fig. 113. Acolo unde bolta cerească pare mai îndepărtată, discul solar apare mărit.

Pentru a verifica această formulă au fost evaluate dimensiunile vizibile ale Soarelui şi Lunii la diferite înălţimi deasupra orizontului (vezi § 126). Aceste experienţe sînt destul de grele. Rezultatele, obţinute ziua, pe cer senin, şi în nopţi fără nori, demonstrează că dimensiunile aparente ale Soarelui şi Lunii oscilează într-adevăr, într-o măsură mai mare sau mai mică, proporţional cu distanţa pînă la bolta cerească. Apropierea norilor (însă nu a obiectelor de pe Pămînt care se conturează la orizont) duce la aceea că Soarele, cînd e jos pe cer, pare mai mare; cauza constă în aceea că cerul înnorat arată mai turtit decît cerul senin şi, prin urmare, pare mult mai îndepărtat de noi la orizont, iar noi îndepărtăm, în mod involuntar, Soarele atît de mult încît sa nu poată apărea nici măcar bănuiala că el se află în faţa norilor.

Tot astfel şi Luna, cînd se află aproape de orizont, pare mai mare ziua dacă în apropiere cerul este acoperit de nori. Foarte interesant este faptul că în amurg, pe cer senin, Luna pare mai mare decît ziua sau noaptea. Aceasta concordă cu turtirea mai mare a bolţii cereşti în amurg. Dacă noaptea este ceţoasă şi Luna iluminează intens regiunile învecinate ale cerului, ni se pare că locul cerului de noapte uşor turtit îl ia din nou bolta plată din amurg, iar Luna ne apare din nou mai mare. Cei care înclină să creadă că mărimea aparentă a discului lunar aproape de orizont sau în ceaţă este legată de scăderea intensităţii luminii pot fi convinşi de greşeala lor prin următoarele observaţii: a) secera lunară nu pare mai mare în ceaţă, ceea ce este uşor de înţeles, deoarece secera iluminează numai în mică măsură cerul din jur; b) în timpul eclipsei de Luna, Luna situată sus nu pare mărită. Din cele spuse, reiese clar că elementul esenţial este aici prezenţa cerului ca fundal; tocmai el este acela care determină evaluarea pe care o facem asupra dimensiunilor Soarelui şi Lunii. Trebuie totuşi sa ţinem seama de faptul că există şi obiecţii fată de ipoteza despre legătura strînsă dintre aceste două fenomene: mulţi văd Soarele şi Luna la orizont mai aproape decît în orice alt loc sau nu sînt capabili, în general, să spună ceva despre distanţa aparentă, cu toate că creşterea dimensiunilor poate fi foarte bine percepută. După părerea mea, obiecţiile de acest fel nu trebuie considerate ca hotărîtoare, deoarece este foarte probabil că, punînd problema distanţei, noi incităm alte impulsuri psihice decît acelea care determină cu preponderentă aprecierile noastre inconştiente.

128. Pămîntul concav[1]

Acesta este reversul imaginii vizuale generate de bolta cerească. Atunci cînd aerul este curat, suprafaţa Pămîntului, văzută dintr-un balon, pare să se curbeze la margini, astfel încît nouă ni se pare că plutim deasupra unei cîmpii mari concave. Planul orizontal care trece prin ochiul nostru ni se pare tot timpul neted, însă celelalte plane orizontale, situate mai sus sau mai jos decît noi, se deformează faţă de acest plan fix.

Dacă balonul pluteşte pe o distanţă de cîţiva kilometri deasupra unui şir de nori, stratul de nori pare şi el curbat; partea convexă este îndreptată spre Pămînt, iar cea concavă în sus. Dacă ni se întîmplă să fim între două straturi de nori, unul deasupra noastră şi celălalt sub noi, ne vom simţi ca şi cum am pluti între două geamuri de ceas uriaşe. Observaţii analoge pot fi efectuate din avion. Eu personal văd Pămîntul concav, însă în mult mai mică măsură decît bolta cerească.

129. Teoria „subaprecierii"

Sterneck a reuşit să deducă în mod magistral o formulă pentru un fenomen psihic atît de complex cum este „bolta cerească". Desigur, el nu a dat o explicaţie completă a acestui fenomen, însă l-a legat cel puţin de un grup mare de observaţii, cunoscute nouă din experienţa zilnică.

---

[1] G. Flammarion, L'Atmosphere, 1888, p. 169.

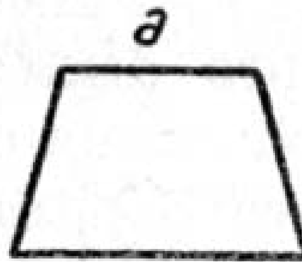


Fig. 113 a.

Cu cît obiectele sînt mai îndepărtate, cu atît devine mai dificilă determinarea distanțelor pînă la ele. Toate felinarele de stradă, care se găsesc la o distanță mai mare de 160—170 m par noaptea situate la aceeaşi distanță. Nici unul din munții vizibili la orizont şi nici unul din corpurile cereşti nu ni se par mai îndepărtate decît celelalte. Un observator mediu, neexperimentat, subapreciază toate distanțele mari, ca de exemplu, un foc noaptea sau luminile unui port văzute din largul mării.

Pentru obiecte apropiate, această subapreciere nu este importantă, însă ea creşte o dată cu creşterea distanței pînă la obiect; în sfîrşit, distanța aparentă atinge o anumită limită. Cîmpurile dreptunghiulare privite din tren ne amintesc de un trapez, deoarece unghiul subîntins de latura a este în concordanță cu distanța sa reală, însă este prea mic pentru distanța sa aparentă. Cînd trenul se apropie de un tunel şi priviți prin geam zidul de cărămizi la intrare, cărămizile par umflate şi lărgite. Aceasta se explică prin faptul că, îndată ce distanța reală scade la jumătate, cărămizile subîntind un unghi de 2 ori mai mare, însă distanța aparentă se micşorează doar de vreo 1,5 ori, aşa încît avem impresia că s-au mărit înseşi cărămizile.

Invers, dacă stați pe platforma din spatele trenului sau tramvaiului şi priviți în depărtare, veți vedea cum stîlpii de telegraf se micşorează foarte rapid pe măsură ce se îndepărtează de dumneavoastră. Noi subapreciem viteza şi distanța şi, de aceea, şi unghiul sub care vedem stîlpul pare mai mic decît ne aşteptam.

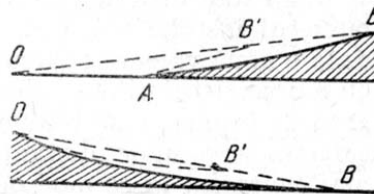


Fig. 114. Observatorul *O* supraapreciază panta care se ridică şi subapreciază pe cea care coboară.

Sterneck a încercat să lege distanța aparentă d' şi distanța reală d prin următoarea relație simplă:

$$d' = cd/(c + d)$$

unde c este distanța maximă care poate fi evaluată în condițiile de iluminare date (ea este constantă pentru fiecare caz în parte); c variază între 200 m şi 20 km. După cum vedem, conform cu această formulă, d' este practic egal cu d atît timp cît d este mic în comparație cu c; cînd d devine de ordinul lui c, subaprecierea creşte; dacă însă d este mai mare, distanța aparentă tinde spre o limită. Aşadar, formula dă o descriere calitativă bună a experienței, iar observații îngrijite au arătat, de asemenea, şi o concordanță cantitativă neaşteptat de bună.

Teoria „subaprecierii" explică de ce un observator O (fig. 114) care stă la poalele unui munte supraapreciază panta muntelui, considerînd distanța O B ca şi cum ar fi egală cu OB', adică luînd AB drept AB'. Ca o consecință logică, rezultă de aici şi subaprecierea pantei de către un observator care stă pe vîrf (fig. 114). Să vedem acum cum poate explica această teorie forma vizibilă a bolții cereşti şi creşterea aparentă a dimensiunilor corpurilor cereşti la orizont.

Să ne închipuim un strat de nori la o înălțime de 2,5 km deasupra capului. Acest strat ar trebui să pară ca o boltă foarte slab curbată, deoarece, în urma curburii suprafeței terestre, ochiul nostru se

află la o distantă de circa 178 km de stratul de nori la orizont şi doar la 2,5 km de stratul de la zenit. Cerul înnorat arată totuşi cu totul altfel! Distanța mică este numai puțin subapreciată, în timp ce distanța mare este mult subapreciată. Să admitem că estimăm raportul:

ochi — orizont / ochi — zenit

egal aproximativ cu 5; aceasta înseamnă că, în condițiile noastre, c =10,6 km; în acest caz, formula subaprecierii dă valori corecte (încercați să faceți singuri calculul). De aici rezultă că cerul înnorat trebuie să apară ca un hiperboloid de rotație, ceea ce este în concordanță cu impresiile noastre obişnuite. Remarcați că în felul acesta vedem întradevăr bolta cerească nu turtită, ci, dimpotrivă, relativ mai ridicată decît este ea în realitate.

Cum stau însă lucrurile cu cerul senin din timpul zilei şi cu cerul înstelat? Von Sterneck ia pur şi simplu de fiecare dată o nouă valoare pentru constanta c şi formula sa descrie cu o precizie uimitoare observațiile în fiecare caz. Este însă greu de înțeles, cum putem vorbi în astfel de cazuri despre subaprecierea unor „distanțe". Aceasta ne duce la întrebarea mai generală: în ce mod obținem, în general, o idee despre distanțele pînă la obiecte atît de nedeterminate cum sînt norii? Dar cerul albastru? Dar cerul într-o noapte senină? Teoria subaprecierii este utilă, probabil, atît timp cît avem de-a face cu obiectele de pe pămînt, în raport cu care noi putem evalua dimensiunile şi distanțele din experiență; este însă îndoielnic dacă o putem aplica şi la bolta cerească. În afară de aceasta, cauza subaprecierii rămîne pînă în prezent necunoscută.

130. Teoria gaussiană a direcțiilor vizuale

De cele expuse în paragraful precedent sînt legate o serie de observații care arată că forma bolții cereşti şi creşterea aparentă a dimensiunilor corpurilor cereşti la orizont depind de direcția privirii în raport cu propriul nostru corp. Pornind de aici, Gauss a presupus că experiența multor generații ne-a făcut să fim mai bine adaptați pentru observarea unor obiecte aşezate în fața noastră decît deasupra noastră şi că aceasta influențează aprecierile pe care le facem asupra distanțelor şi dimensiunilor.

Pe Lună plină, cînd Luna este în înaltul cerului, să ne aşezăm pe un scaun sau direct pe pămînt şi să ne lăsăm pe spate. Dacă ne înclinăm mult pe spate, ținînd capul în poziția obişnuită, şi privim Luna, ea pare mult mărită. Dacă însă ne ridicăm brusc, fără a scăpa din priviri Luna, ea apare din nou mai mică. Dimpotrivă, Luna plină aproape de orizont arată mult mai mică atunci cînd ne aplecăm în față.

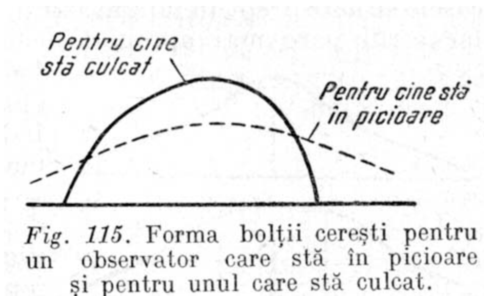


Fig. 115. Forma bolții cereşti pentru un observator care stă în picioare şi pentru unul care stă culcat.

Ambele fenomene pot fi observate alternativ cînd Soarele se află la o înălțime de 30—40° şi lumina sa este slăbită de ceață. Aplecați-vă înainte şi înapoi şi discul va apare cînd mai mic, cînd mai mare. Culcați-vă cu spatele lipit de Pămînt; cerul apare turtit în direcția în care vă este îndreptat capul; în direcția opusă, el are o formă riguros sferică (fig. 115). Aceasta arată în mod clar că, în poziția dată, este practic indiferent dacă privirea este îndreptată în jos sau înainte față de corpul nostru daca însă privirea este îndreptată în sus, obiectele par turtite. Suspendați-vă, cu capul în jos, de o bară orizontală, prinsă sub genunchi, şi priviți în jur. Văzut din această poziție, cerul are forma unei emisfere. Toate aceste observații concordă între ele. În afară de aceasta, constelațiile văzute prin telescop, adică independent de influențele exterioare ale peisajului, par mai mari atunci cînd sînt mai apropiate de orizont. Singurul lucru care poate să exercite aici o influență este direcția în care privim.

Nu încercați să mai faceți o altă verificare, apreciind dimensiunile vizibile ale Soarelui şi Lunii printr-o oglindă ținută astfel, încît să vedeți, de exemplu, Luna sus pe cer atunci cînd privirea este orizontală. Dacă observatorul are cunoştință, într-un fel sau altul, de prezența oglinzii, iluzia este parțial pierdută. De aceea, experiențele de acest gen sînt foarte dificile.

Celelalte teorii, care se referă la impresiile vizuale descrise mai sus, pot fi uşor combătute. Astfel, a fost emisă „teoria fizică" a bolții cereşti, construită pe principiul greu de înțeles că cerul pare

cu atît mai îndepărtat, cu cît este mai luminos şi că distanţa variază proporţional cu rădăcina pătrată a strălucirii. La zenit, cerul albastru este mai întunecat decît la orizont şi din această cauză el ne pare mai apropiat. Această teorie cade datorită faptului că cerul acoperit uniform de nori este indiscutabil mai strălucitor la zenit decît la orizont şi, totuşi, el pare turtit. În afară do aceasta, pe cerul înnorat, norii aflaţi în faţa Soarelui, care sînt mai strălucitori decît ceilalţi, par totdeauna mai apropiaţi decît porţiunile vecine ale cerului.

131. Cum influenţează obiectele terestre aprecierea distanţelor pînă la bolta cerească[1]

Dacă stăm în faţa unui şir lung de case şi privim spre casele situate drept în faţa noastră, vom observa că deasupra lor cerul pare mai apropiat decît deasupra caselor mai îndepărtate. Deasupra unei cîmpii cerul ni se pare mai îndepărtat decît deasupra unei păduri.

Din ochi noi apreciem distanţa pînă la cer la aproximativ 50 — 60 m. Însă faptul că vedem obiecte despre care ştim că sînt foarte îndepărtate de noi este suficient pentru ca fondul lor — cerul — să ne pară mult mai îndepărtat, într-o anumită măsură, orice obiect terestru are ca fond cerul.

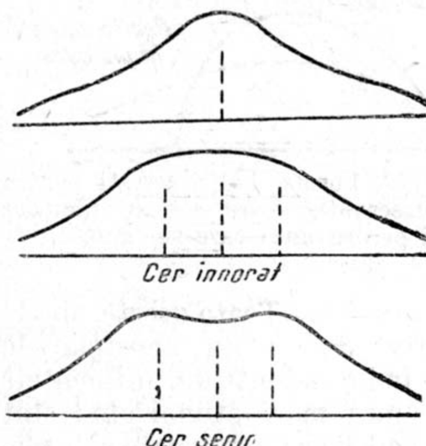


Fig. 116. Forma aparentă a cerului deasupra pilonilor unei staţii de radio.

Aceasta demonstrează că toate fenomenele descrise trebuie să fie de natură pur psihologică şi că nu se poate vorbi despre o „suprafaţă de comparaţie" ideală, cum ar putea fi pentru noi bolta cerească.

Priviţi o cale ferată sau o şosea de-a lungul căreia sînt plantaţi pomi care dau impresia unei distanţe mari în această direcţie cerul pare mult mai îndepărtat decît în celelalte. Dar dacă acoperim, peisajul pînă la orizont cu o foaie de hîrtie, cerul se apropie imediat.

Dacă, dimpotrivă, ridicăm privirea în sus, cerul pare mai înalt. Acest fenomen este deosebit de evident cînd stăm la picioarele unui turn înalt sau lîngă pilonii lungi şi subţiri ai unei staţii de radio puternice. Cerul pare curbat ca o cupolă şi această curbare este mai accentuată între cei trei piloni. Efectuînd observaţii în mod independent, diferiţi observatori au ajuns la rezultate asemănătoare în ceea ce priveşte forma aparentă a cerului (fig. 116).

Dacă, privind în direcţia unuia din turnuri, împărţiţi în două arcul care uneşte orizontul cu zenitul (§ 124), punctul de diviziune pare mult mai sus decît în cazul cînd efectuaţi împărţirea stînd cu spatele la turn şi la oarecare distanţă de el. Acoperiţi cu ceva orizontul în timp ce priviţi turnul: unghiurile subîntinse de partea inferioară a arcului par acum mai mari de 45° şi ating chiar 56°; aceasta înseamnă că bolta cerească arată mai bombată decît o emisferă!

Oricît de convingătoare ar fi aceste observaţii, ele în sine nu pot explica nici forma bolţii cereşti, nici creşterea aparentă a dimensiunilor corpurilor cereşti la orizont. Chiar dacă privim printr-o sticlă foarte întunecată, Soarele va părea totdeauna mic atunci cînd este în înaltul cerului şi mare atunci cînd este aproape de orizont, deşi peisajul nu se vede de loc.

---

[1] G. Ten Doesschate, „Nederl. Tijdsrhr. voor. Geneesk." 74, 748, 1930; Pohl, „Naturwiss", 7, 415, 1919.

132. Dimensiunile aparente ale Soarelui şi Lunii în centimetri

Metoda imaginilor consecutive

Se ştie că nu putem evalua mărimile Soarelui şi Lunii în dimensiuni liniare; putem determina numai diametrele lor unghiulare. Este totuşi remarcabil că mulţi oameni afirmă că văd corpurile cereşti de mărimea unei farfurii mari, în timp ce pentru unii (mai puţini la număr) aceste corpuri arată cît o monedă. Dacă va vine să zîmbiţi, amintiţi-vă că şi un om cu pregătire ştiinţifică simte imposibilitatea de a aprecia dacă mărimea vizibilă a diametrului lunar este de l mm sau de 10 m, deoarece el ştie că la distanţa de 10 cm Luna este în întregime acoperită de un ecran de l mm, iar la distanta de l 000 m, de un ecran de 10 m. Factorii psihologici care intervin aici au fost foarte puţin studiaţi pînă în prezent.

Se ştie că putem obţine o imagine consecutivă a Soarelui dacă aruncăm o privire scurtă asupra lui şi apoi închidem ochii (§ 101). Această imagine consecutivă se proiectează pe orice obiect pe care-l privim după aceea. Pe un perete apropiat, ea pare foarte mică şi neobservabilă, pe obiecte îndepărtate ea pare mult mai mare (subliniez: trebuie să evaluăm mărimea ei „proprie" şi nu unghiul subîntins de ca). Acest efect este uşor de înţeles: dacă obiectul la distanţă subîntinde acelaşi unghi ca şi un obiect apropiat, dimensiunile salo liniare trebuie să fie mai mari. Cînd este imaginea consecutivă egală în mărime cu însuşi Soarele sau Luna? După părerea diferiţilor observatori, aceasta se întîmplă atunci cînd peretele se află la o distanţă de 50—60 m, indiferent dacă e zi sau noapte. Prin urmare, aceasta este valoarea la care apreciem distanţa de la noi pînă la Soare sau Lună. Întrucît unghiul subîntins este de 1/108, obţinem corespunzător pentru diametru valoarea 45—55 cm.

Pe aceeaşi cale s-a demonstrat că pe un zid situat la o distanţă de peste 60 m, imaginea consecutivă păstrează aceeaşi mărime ca şi atunci cînd se află drept în faţa noastră pe cer (aproape de orizont); dacă însă imaginea consecutivă este proiectată în înaltul cerului, ea apare categoric mai mică decît pe un perete la 60 m de noi. Aceasta confirmă încă o dată că distanţa pînă la zenit pare mai mică decît distanţa pînă la orizont şi că mărimea de 60 m reprezintă „distanta limită", în conformitate cu teoria subaprecierii (vezi § 129).

133. Peisajul în pictură

Făcînd schiţe, Vaughan Cornich[1] a încercat să determine dimensiunile unghiulare ale cîmpului vizual pe care omul îl vede ca un întreg, ca un singur tablou. Impresia generală a peisajului depinde în multe privinţe de aceasta. Cîmpul vizual era mai mic pe şes, mai mare în regiunile muntoase, mai mare noaptea şi mai mic ziua.

[1] Vaughan Gornich, Scenery and thc Sense of Sight.

X. Curcubeul, haloul şi fenomenele de coroană

Curcubeul

O bună introducere în studiul curcubeului o constituie observarea simplă a picăturilor de apă. Fenomenele care au loc într-o picătură izolată de apă se produc, de asemenea, în milioanele de picături de ploaie şi ele dau naştere arcului multicolor şi strălucitor al curcubeului.

134. Fenomenele de interferenţă în picăturile de ploaie

Mulţi dintre cei care poartă ochelari se plîng că picăturile de ploaie deformează imaginile şi le fac de nerecunoscut. Ei se consolează probabil dacă le atragem atenţia asupra măreţiei imaginilor de interferenţă care se văd seara pe aceleaşi picături de ploaie. Pentru aceasta este necesar doar să privim o sursă îndepărtată de lumină, de exemplu, un felinar de stradă. O picătură de ploaie, care nimereşte pe lentilă drept în faţa pupilei, se transformă într-o pată luminoasă cu proeminenţe şi zimţuri neobişnuite şi cu o bordură de inele de difracţie minunat colorate (fig. 117a).

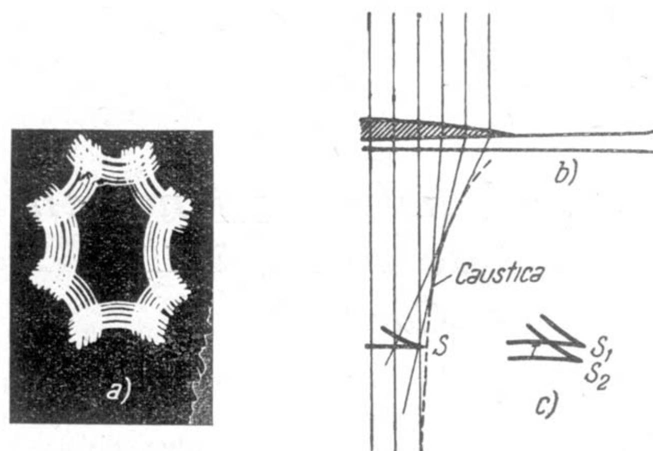


Fig. 117. Difracţia razelor de lumină într-o picătură de ploaie pe o lentilă de ochelari:
a) imaginea de interferenţă; *b)* drumul razelor de lumină: punctat — înfăşurătoarea (caustica), linia plină — suprafeţele de undă care se intersectează în punctul *S*; *c)* două fronturi de undă succesive care trec printr-un punct.

Este remarcabil faptul că pata luminoasă rămîne pe acelaşi loc, chiar dacă lentila este mişcată în dreapta sau în stînga. O altă trăsătură interesantă constă în aceea că forma generală şi trăsăturile petei luminoase la prima privire par să nu aibă nici o legătură cu forma picăturii de ploaie. Explicaţia este simplă. Vom considera ochiul ca un mic telescop care dă imaginea sursei îndepărtate de lumină, iar picătura de apă ca un grup de prisme aşezate în faţa obiectivului telescopului, în acest caz, este evident că fiecare prismă mică, indiferent de poziţia sa faţă de lentila ochelarului, deviază grupul de raze într-o parte (se presupune că ele intră în orificiul obiectivului); forma petei va depinde însă de mărimea unghiului de re fracţie şi de orientarea fiecărei prisme mici. O picătură de apă alungită în direcţia verticală dă, într-adevăr, o bandă de lumină orizontală.

Mai rămîn inelele de difracţie. Ele n-ar exista dacă picătura de apă ar fi o lentilă corectă şi ar da imaginea sursei de lumină sub forma unui punct. În acest caz, toate părţile frontului de undă ar ajunge în planul imaginii cu aceeaşi fază, întrucît părăsesc simultan sursa de lumină, însă datorită faptului că suprafaţa picăturii este curbată neuniform, razele refractate nu cad în focar, ci sînt tangente la caustică (fig. 117,6). În acest caz, într-un punct aproape de caustică se vor găsi întotdeauna două raze de lumină care vor fi parcurs drumuri optice diferite şi va apare interferenţa. Trasînd suprafeţele de undă, găsim punctul de întoarcere, în care se formează un „vîrf". Prin punctul T trec întotdeauna două fronturi de undă cu o diferenţă de fază determinată (fig. 117c).

Distanţa între inelele întunecate, măsurată dintr-un punct dat, este dată de formula sqrt $(2m + l)^2$, unde m=1, 3, 5... Aşadar, raportul acestor distanţe este de 2,1; 3,7; 5,0; 6,1 etc.

Alături de benzile curbate, care mărginesc picătura, putem vedea şi inele mai slab conturate în jurul fiecărui firicel de praf care se află pe suprafaţa picăturii însăşi sau pe sticla ochelarilor. Cu cît ştergem mai bine sticla, cu atît vom observa mai puţine inele.

Merită să depunem un efort pentru a studia toate aceste amănunte.

135. Cum se formează curcubeul

Inima-mi bate cînd văd, sus pe cer, Curcubeul.
(Wordsworth)

Sîntem într-o amiază de vară, căldura este înăbuşitoare. La apus se vad nori întunecaţi: se apropie furtuna. Arcul de nori negri creşte rapid. În spatele lor, la o oarecare distanţă, cerul pare aproape senin; marginea lor din faţă este brodată de nori cirus cu benzi transversale frumoase. Norii acoperă întreg cerul şi trec deasupra noastră, înfiorîndu-ne prin fulgere şi tunete. Deodată se dezlănţuie o ploaie torenţială; se face mai frig. Soarele apare din nou aproape de orizont şi pe fondul furtunii care se retrage spre răsărit apare arcul larg al curcubeului multicolor.

Oricînd ar apare curcubeul, el se formează totdeauna datorită jocului de lumină pe picăturile de apă. De obicei acestea sînt picături de ploaie, rareori — mici picături de ceaţă. Pe picăturile cele mai mici, ca acelea din care sînt compuşi norii, nu se vede curcubeul. Aşadar, dacă veţi auzi vreodată că cineva a văzut un curcubeu pe timp de ninsoare sau cînd cerul era complet senin, fiţi convinşi (ă zăpada era semitopită sau cădea acea burniţă măruntă care apare uneori în absenţa oricăror nori. Încercaţi să efectuaţi aceste observaţii interesante singuri. Picăturile pe care apare, curcubeul se găsesc de obicei la unul pînă la doi kilometri de noi (fotografia XIV). Odată am văzut clar un curcubeu pe fondul unui copac care se afla la 20 m de mine; prin urmare, curcubeul însuşi s-a format şi mai aproape. Se cunosc cazuri cînd curcubeul era vizibil la o distanţă de 3—4 m.

După o veche superstiţie engleză, la poalele fiecărui curcubeu poate fi găsit un vas cu aur. Mai sînt încă şi astăzi oameni care-şi închipuie că pot ajunge într-adevăr la poalele curcubeului şi că acolo se vede o lumină care străluceşte într-un mod deosebit. Este absolut evident că curcubeul nu se află într-un loc anumit, ca un obiect real. El nu este altceva decît lumină care vine dintr-o anumită direcţie.

Credinţa populară mai spune că dimineaţa, curcubeul prevesteşte ploaie, iar seara vreme frumoasă. Această credinţă nu conţine prea mult adevăr. Curcubeul este totdeauna legat de ploaie şi, în majoritatea cazurilor, ploaia continuă şi după curcubeu[1].

Încercaţi să fotografiaţi curcubeul pe o peliculă orto-cromatică sau pancromatică cu un filtru galben; expunerea să fie de 1/10 s, iar diafragma F:16.

136. Descrierea curcubeului

„Curcubeul lui Rubens... era de un albastru pal, mai întunecat decît cerul din peisajul iluminat de curcubeu. Rubens nu este vinovat de faptul că nu era familiarizat cu optica, ci de faptul că nu s-a uitat niciodată cu atenţie la un curcubeu".
(Huskin, The Eagle's Nest)

Curcubeul este o parte dintr-un cerc. Primul lucru pe care trebuie să încercăm să-l facem este să găsim unde se află centrul acestui cerc, adică direcţia în care vedem punctul central. Observăm imediat că acest punct central T se află sub orizont şi găsim uşor că prelungirea dreptei care trece prin Soare şi ochiul observatorului O, trece prin acest punct numit punct antisolar. Această dreaptă este ca un fel de axă, pe care curcubeul este fixat ca o roată (fig. 118). Razele care vin de la curcubeu spre ochi formează o suprafaţă conică; fiecare face cu axa un unghi de42° (care este jumătate din unghiul de la vîrful conului).

[1] G. Schinder, „Meteor. Rundsch.", l, 435, 1948.

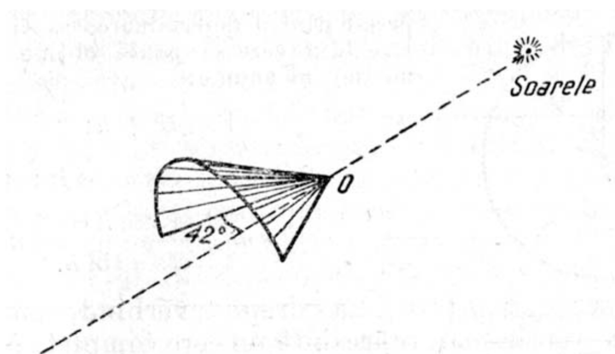


Fig. 118. **Poziţia relativă a Soarelui şi a curcubeului.**

Cu cît Soarele se apropie mai mult de orizont, cu atît punctul antisolar se ridică mai sus şi, prin urmare, şi curcubeul se întinde pe un arc tot mai mare deasupra orizontului, pînă ce la apusul Soarelui devine un semicerc. Pe de altă parte, dacă înălţimea Soarelui este mai mare de 42°, curcubeul dispare sub orizont. Aceasta este cauza faptului că la latitudinile noastre nimeni nu a văzut un curcubeu vara aproape de amiază.

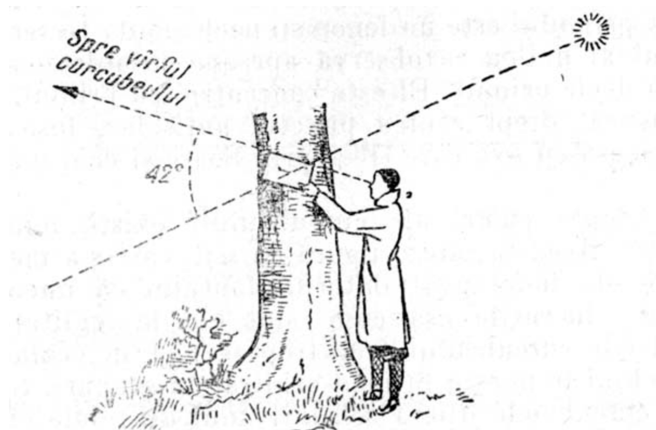


Fig. 119. **Măsurarea distanţei unghiulare a curcubeului de la punctul antisolar.**

Fixăm, cu un ac cu gămălie, o carte poştală pe un pom şi o orientăm astfel încît unul din colţurile sale să arate înspre vîrful curcubeului. Umbra acului cu gămălie va arată atunci direcţia dreptei care uneşte Soarele cu observatorul, astfel încît vom putea să determinăm dintr-odată distanţa unghiulară a curcubeului faţă de punctul antisolar (fig. 119).

Pentru determinarea înălţimii vîrfului curcubeului h deasupra orizontului şi a distanţei 2α între cele două capete ale sale (fig. 120), putem folosi, de asemenea, una din metodele § 265, notînd timpul observaţiilor. Calculînd apoi înălţimea Soarelui, care este egală cu unghiul H al punctului antisolar T faţă de orizont, obţinem trei expresii pentru determinarea razei unghiulare (din care se poate obţine valoarea medie), şi anume:

$r = H + h$; $\cos r = \cos \alpha * \cos H$; $\operatorname{tg} r = (1- \cos \alpha * \cos H) / \cos \alpha * \sin h$

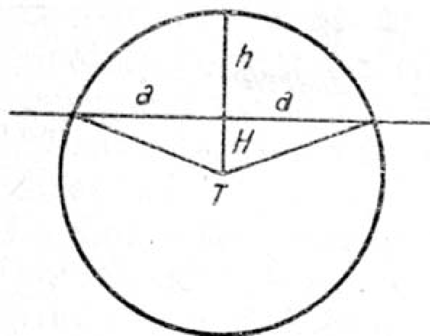


Fig. 120. Determinarea înălţimii vîrfului curcubeului deasupra orizontului.

La drept vorbind, curcubeul reprezintă un cerc complet. Noi nu-l putem urmări pînă dincolo de orizont, datorită faptului că nu putem vedea picăturile de ploaie care cad sub noi. S-a stabilit că dintr-un avion sau dintr-un balon se poate vedea circumferinţa întreagă a curcubeului cu umbra observatorului în centru. Aceasta este o privelişte măreaţă care a fost într-adevăr observată[1].

Mulţi consideră că apariţia unui al doilea curcubeu deasupra primului este un fenomen neobişnuit. În realitate, curcubeul al doilea se observă aproape întotdeauna, deşi mai slab decît primul. El este concentric cu primul, avînd de asemenea, drept centru punctul antisolar, însă razele sale formează cu axa care trece prin Soare şi ochi un unghi de 51°.

Cele „şapte culori ale curcubeului" există numai în imaginaţie. Aceasta este o figură de stil, care s-a menţinut timp atît de îndelungat datorită faptului că uneori noi nu vedem lucrurile aşa cum sînt ele în realitate. De fapt culorile curcubeului trec treptat una în .cealaltă, şi numai ochiul le uneşte în mod arbitrar în grupuri. S-a stabilit că curcubeiele diferă sensibil unul de celălalt; chiar şi acelaşi curcubeu poate varia în timpul cît îl observăm; vîrful său poate să difere de părţile sale inferioare, înainte de toate, au fost observate diferenţe mari în lărgimea totală a benzii colorate (în mărime unghiulară, vezi anexa, § 265). Apoi, deşi ordinea culorilor este totdeauna aceeaşi — roşu, portocaliu, galben, verde, albastru, violet — lărgimea relativă a benzilor diferitelor culori şi strălucirea lor variază în modul cel mai arbitrar posibil. După impresia mea, diferiţi observatori nu descriu totdeauna în acelaşi mod acelaşi curcubeu. De aceea, pentru a fi convinşi de deosebirea curcubeielor, trebuie fie să comparăm descrierile cîtorva observatori, fie să stabilim dinainte dacă impresiile a doi observatori coincid.

Descrierea obiectivă a culorilor curcubeului permite stabilirea faptului remarcabil că în interiorul arcului violet sînt adeseori vizibile şi cîteva „arcuri suplimentare". De obicei ele se văd cel mai bine acolo unde curcubeul este mai strălucitor, adică în apropierea punctului său cel mai înalt. De regulă, în ele alternează culorile roz şi verde. Denumirea lor este greşită, deoarece deşi aceste cercuri sînt mai slabe, ele formează o parte tot atît de importantă a curcubeului ca şi culorile „obişnuite". Aceste arcuri suplimentare variază adeseori rapid în intensitate şi lărgime, ceea ce indică modificarea dimensiunilor picăturilor (§ 139).

Ordinea culorilor în curcubeul al doilea este inversată faţă de ordinea din primul; cele două curcubeie se mărginesc prin benzile lor roşii. Al doilea curcubeu apare rareori suficient de strălucitor pentru ca să devină vizibile arcurile sale secundare (suplimentare): ele sînt dispuse dincolo de banda violetă, adică la marginea exterioară a celui de-al doilea curcubeu[2].

Şi-aşa precum şi norii subţirei
fac arcuri paralel şi-ntr-o coloare,
……………………………………
iar cel îngust dă celui larg lucoare..."
(Dante, Paradisul, cîntul XII)

137. Curcubeiele apropiate de ochi

Observînd jocul razelor solare în stropii de apă deasupra fîntînilor arteziene şi a cascadelor,

---

[1] C. Flammarion, op. cit., p. 214.
[2] Acest fenomen a fost observat de Brewster în 1928.

putem vedea direct cum apare curcubeul în masa picăturilor de apă. De-a lungul punţii unui vapor, acolo unde valurile se fărîmiţează în stropi de spumă, se poate vedea deseori un curcubeu care însoţeşte corabia şi care este uneori mai intens, alteori mai slab, în funcţie de densitatea şi grosimea norului picăturilor de apă. Acest fenomen se poate observa deosebit de uşor atunci cînd vasul înaintează în direcţia Soarelui.

Există cîteva metode simple pentru a reproduce într-o grădină „o ploaie" în care Soarele să formeze un curcubeu: 1) un furtun de grădină; 2) aparatul lui Tyndall, în care jetul de apă este îndreptat sub presiune asupra unui disc metalic circular, împroşcînd micei picături, sau 3) pulverizatorul lui Antolik (fig. 121); în cazul din urmă este necesar numai să suflăm puternic în tubul a. Mărimea picăturilor poate fi reglată, deplasînd cu cîţiva milimetri în sus sau în jos tubul bcd în interiorul tubului mai larg ef, ceea ce se realizează prin deplasarea dopului de plută perforat g; un rol important îl joacă, de asemenea, mărimea orificiului de ieşire u. Apa poate fi introdusă prin tubul a fără a deschide aparatul. Experienţele mele personale cu acest mic aparat au fost foarte satisfăcătoare.

Picăturile minuscule de apă emise de pulverizatorul utilizat pentru stropirea plantelor din sere au dimensiuni atît de reduse, încît în ele nu poate fi văzut curcubeul obişnuit; se vede doar un curcubeu alb, colorat în albastru şi galben la margini (vezi § 144). Numai din cînd în cînd se formează în mod întîmplător picături mai mari şi pentru un moment se vede curcubeul obişnuit. În toate împrejurările, curcubeul se vede sub un unghi de 42° faţă de punctul antisolar şi, de preferinţă, pe un fond întunecat.
Astfel de experienţe constituie un material excelent pentru observaţii. Dacă sub „linia orizontului" există un număr suficient de picături de apă, putem observa curcubeul sub forma unor cercuri. Dacă ne deplasăm, curcubeul se deplasează împreună cu noi; el nu este un obiect şi noi nu-l vedem într-un loc anumit, ci într-o direcţie anumită; se poate spune că curcubeul se comportă ca ceva infinit de îndepărtat, ceva ce se mişcă împreună cu noi, ea Luna.

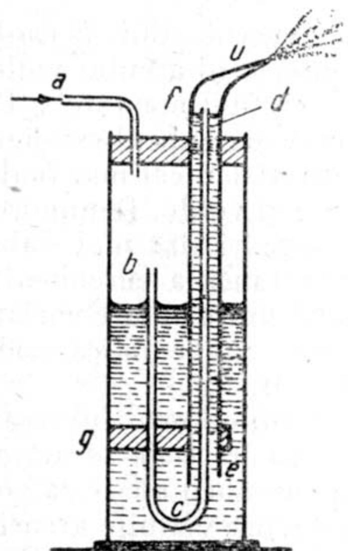


Fig. 121. Pulverizatorul lui Antolik.

Dacă stăm foarte aproape de norul de picături, de exemplu, la stropirea cu furtunul, putem vedea două curcubeie care se intersectează. Cum se întîmplă acest lucru? Încercaţi să închideţi alternativ ochii şi vi se va părea că fiecare ochi vede propriul său curcubeu (aceasta rezultă, de asemenea, din aceea, că curcubeul se deplasează o dată cu noi). Adeseori se vede foarte bine al doilea curcubeu, precum şi arcurile suplimentare. Dacă se schimbă direcţia jetului sau curcubeul se vede în alte porţiuni ale jetului, se modifică şi strălucirea culorilor curcubeului; cauza constă în modificarea dimensiunilor picăturilor.

Lipiţi un fir de mătase artificială pe o bucată de hîrtie tăiată sub formă de U şi depuneţi pe fir p mică picătură de salivă. Aduceţi apoi picătura aproape de ochi şi priviţi-o pe un fond întunecat. Veţi vedea un curcubeu de ploaie cu minunate arcuri secundare. Aceeaşi experienţă poate fi făcută cu picături de rouă pe o pînză de păianjen.

138. Teoria carteziană a curcubeului

Pentru a cerceta drumul luminii într-o picătură de ploaie, să umplem un balon de sticlă cu apă şi să-l aşezăm la Soare (fig. 122a). Pe ecranul AB, prevăzut cu un orificiu circular (ceva mai mare decît balonul), apare un curcubeu palid R. El are forma unui cerc închis, cu o rază unghiulară de circa 42° şi cu o bandă roşie în exterior, ca la curcubeul adevărat.

Experienţa poate fi efectuată cu acelaşi succes şi cu un pahar obişnuit, mai mult sau mai puţin cilindric. Experienţa trebuie făcută dimineaţa sau seara, cînd Soarele este aproape de orizont. Imaginea nu va mai fi acum un cerc, ci va consta din benzi colorate.

Dacă aşezăm în S un ecran mic, fixat de o sîrmă, în partea inferioară a curcubeului vom vedea o umbră (fig. 122, b). Dacă punem pe balon, undeva lîngă F, degetul arătător umezit, vom vedea în locul respectiv în partea inferioară a curcubeului o pată mai întunecată.

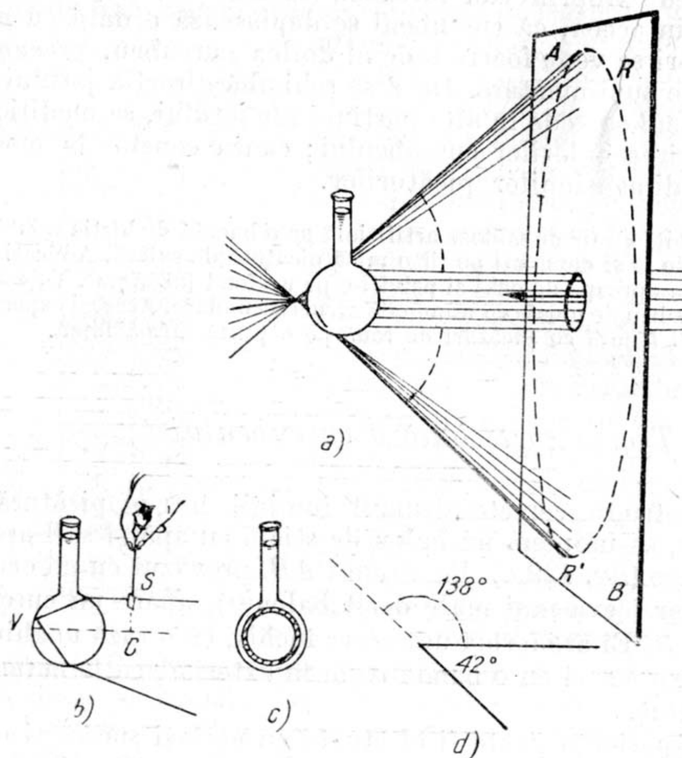


Fig. 122: Reproducerea unui curcubeu cu ajutorul unui balon umplut cu apă.

Ca izvor de lumină putem folosi şi o luminare aşezată la o distanţă de l m de paharul plin cu apă. Lumina luminării este prea slabă pentru a o prinde pe ecran, însă dacă privim paharul sub un unghi de 150° faţă de direcţia lumînării şi deplasam treptat ochiul pînă la 138°, putem vedea două benzi luminoase care se apropie una de alta şi care, întîlnindu-se, emit culorile curcubeului, iar apoi dispar. Direcţia acestor raze observate în ultimul moment poate fi determinată cu ajutorul unor ace de gămălie fixate pe masă şi măsurînd apoi unghiul de deviere.

Aşadar, curcubeul este format de razele incidente care cad la distanţa SC de linia centrală şi se reflectă înapoi în picătura de apă în punctul V. Dacă în faţa balonului aşezăm un inel lat de cîţiva milimetri şi cu diametrul de 0,86 ori diametrul balonului, făcînd ca centrul său să coincidă cu centrul fasciculului incident, curcubeul dispare complet (fig. 122, c). Fig. 123 arată mersul exact al razelor, calculat după legile reflexiei şi refracţiei. Se vede că razele de lumină care cad pe picătura de apă ies din ea sub unghiuri diferite, în funcţie de locul în care ele cad pe picătură. Una din aceste raze este mai puţin deviată decît celelalte, şi anume cea de 138°, cu alte cuvinte, ea formează cu axa un unghi de 180—138 = 42°. Razele emergente au direcţii diferite; numai cele care suferă o deviere minimă sînt practic paralele şi, de aceea, ajung la ochiul nostru cu „densitatea" cea mai mare.

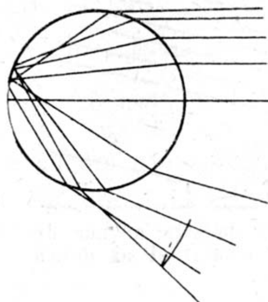


Fig. 123. Drumurile razelor de lumină într-o picătură de apă care arată cum se formează curcubeul. Linia groasă este frontul undei.

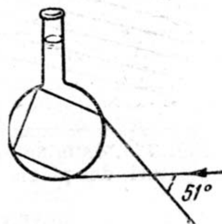


Fig. 124. Apariţia celui de-al doilea curcubeu.

Într-o cameră bine întunecată, pe un ecran se poate vedea şi al doilea curcubeu, care formează cu axa un unghi de 51°, fiind deci deviat cu 180 + 51 = 231° faţă de direcţia razei incidente (fig. 124). Prin experienţe asemănătoare cu cele efectuate cu primul curcubeu putem sa ne convingem că al doilea curcubeu se formează la reflexia dublă a razelor. Ordinea culorilor în el este inversă în comparaţie cu primul curcubeu, aşa cum se întîmplă şi în realitate.

Să ne închipuim acum că fiecare din picăturile norului reflectă, aşa cum s-a descris mai sus, o parte însemnată a luminii sub unghiul de 42° şi o parte mai mică sub unghiul de 51°. Toate picăturile care se văd la distanţa unghiulară de 42° faţă de raza care vine de la Soare se află într-o astfel de poziţie, încît trimit spre ochiul nostru lumina primului lor curcubeu, în timp ce de la picăturile aşezate la distanţa unghiulară de 51° faţă de lumina solară incidenţa, obţinem raze de două ori reflectate. Astfel se formează primul şi al doilea curcubeu (fig. 125).

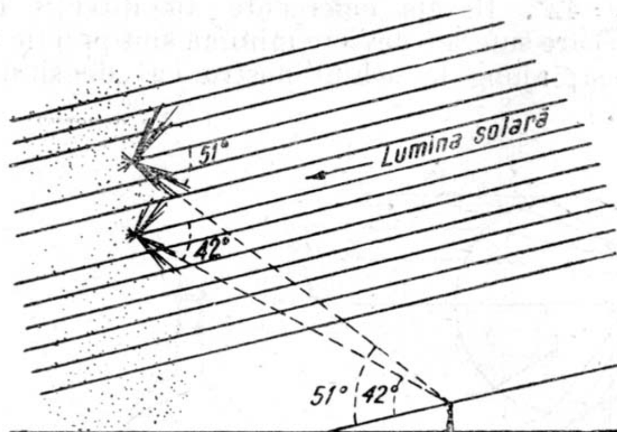


Fig. 125. Lumina solară care cade pe un nor de picături de ploaie creează primul şi al doilea curcubeu.

139. Teoria curcubeului pe baza fenomenului de difracţie[1]

Teoria lui Descartes se referă numai la acele raze care suferă o deviere minimă, ca şi cum n-ar exista decît aceste raze. În realitate însă, există un număr însemnat de raze cu devieri mari, înfăşurate complet de o caustică curbată. Acestea sînt tocmai condiţiile în care apare interferenţa într-un punct apropiat de caustică la picăturile de ploaie pe o lentilă de ochelari (§ 134). Şi, în special cînd avem de-a face cu picături foarte mici, nu ne mai putem limita la considerarea razelor de lumină. În acest caz, trebuie studiat frontul de undă[2] în locurile unde prezintă un vîrf aproape de caustică (fig. 123).

---

[1] [1]Prinsen Reesink, „Physica", **11,** 49, 1944; Buchwald, „Optik", 3, 4, 1948; van de Hulst, Light Scatering by Small Particles, 1957.

[2] Suprafaţă de separaţie dintre regiunea perturbată şi regiunea neperturbată, în timpul propagării undei

Conform cu principiul lui Huygens, fiecare punct al frontului de undă trebuie considerat ca un nou centru de emisiune; în acest caz, problema se reduce la a află cum interfera oscilaţiile care ajung la ochiul nostru de la diferitele porţiuni ale frontului de undă. Acest studiu, efectuat de Airy şi completat de Stokes, Mobius şi Pernter, duce la celebra integrală a curcubeului

$$A = c\int_0^\infty \cos\frac{\pi}{2}(u^3 - zu)\,du.$$

Aici A este amplitudinea undelor luminoase care cad în ochiul nostru, în funcţie de unghiul z făcut de direcţia de observaţie cu direcţia razelor de deviere minimă. Integrala se calculează cu ajutorul dezvoltării în serie; intensitatea luminii observată de noi în direcţia z este dată de mărimea A^2.

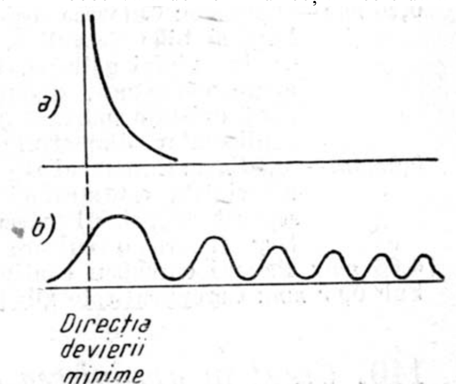


Fig. 126. Distribuţia luminii în fasciculul de raze care iese din picătura de apă:
a) conform teoriei simple a lui Descartes;
b) conform teoriei difracţiei.

Fig. 126 arată pentru o anumită culoare cum se schimbă din cauza difracţiei distribuţia luminii la trecerea de la picături mari (a) la picături mici (b). Ca şi înainte, fenomenul este determinat, în esenţă, de razele care suferă devierea minimă (z = 0), însă se observă şi o serie de maxime mai mici. Asemenea curbe trebuie trasate separat pentru diferite culori, amplasîndu-le în funcţie de lungimile de undă. Pentru fiecare unghi dat obţinem astfel un amestec; prin urmare, curcubeul nu constă niciodată din culori pure izolate. Deoarece primul şi cel mai intens maxim al fiecărei culori joacă rolul principal şi aceste prime maxime se deplasează treptat o dată cu creşterea lungimii de undă, noi observăm culorile curcubeului practic, exact aşa cum rezultă din teoria elementară. Modificările produse de difracţie constau în aceea că culorile pot să fie oarecum diferite în funcţie de mărimea picăturii şi în faptul că în interiorul curcubeului apar arcuri secundare (suplimentare). În sfîrşit, trebuie avut în vedere că Soarele nu este un punct şi, de aceea, razele solare nu sînt riguros paralele (§1). Deoarece ele subîntind un unghi de circa 1/2 grad, culorile curcubeului par oarecum difuze. Teoria difracţiei permite evaluarea aproximativă, direct din forma curcubeului, a dimensiunilor picăturilor pe care apare acest curcubeu. Caracteristicile principale sînt următoarele:

Diametrul picăturilor

- 1—2 mm: Culoare violetă foarte strălucitoare şi un verde strălucitor; există un arc roşu, arcul albastru este abia vizibil. Arcurile suplimentare sînt în număr mare (pînă la 5), de culoare violetă-roză alternativ cu verde, şi se mărginesc direct cu primul curcubeu.
- 0,50 mm: Culoarea roşie este mult mai slabă. Cîteva arcuri violete-roze alternează cu arcuri verzi.
- 0,20 mm — 0,30 mm: Culoarea roşie nu mai există; în rest, arcul este larg şi bine dezvoltat. Arcurile suplimentare devin din ce în ce mai galbene. Dacă între arcurile suplimentare apare o spărtură, diametrul picăturilor este de 0,20 mm; dacă există o spărtură între primul curcubeu şi primul arc suplimentar, diametrul picăturilor este mai mic de 0,20 mm.

— N.R.

- 0,08 mm— 0,10 mm: Curcubeul este mai lat şi mai şters. Numai culoarea violetă este strălucitoare. Primul arc suplimentar este separat de primul curcubeu printr-un interval destul de larg şi are o culoare albicioasă.
- 0,06 mm: Primul curcubeu conține benzi albe separate.
- Sub 0,05 mm: Curcubeul este alb (vezi § 144).

140. Cerul în apropierea curcubeului[1]

Un observator atent constată că cerul între cele două curcubeie este mai întunecat decît în exterior. Desigur, strălucirea fondului de nori variază, însă totuşi această întunecare apare foarte clar (fotografia XIV)[2]. Explicația constă în aceea că, în afară de razele care suferă o deviere minimă, fiecare picătură reflectă razele şi în alte direcții, care deviază mai puternic de la direcția de incidență. Aceasta se vede pe fig. 125. Observați că în curcubeul al doilea razele deviază în direcția opusă față de direcția în care deviază în primul curcubeu.

Observatorul va vedea, aşadar, în interiorul primului curcubeu lumina difuză a Soarelui, care apare datorită razelor care suferă o reflexie şi care sînt deviate cu mai mult decît 138°; el va vedea, de asemenea, lumina solară difuză în exteriorul celui de-al doilea curcubeu (datorită razelor reflectate de două ori, care sînt deviate cu mai mult de 231° şi care, prin urmare, fac cu axa un unghi mai mare de 51°).

Aerul în intervalul dintre cele două curcubeie este iluminat numai de lumina cerului. Se poate observa un contrast minunat dacă curcubeul apare la apusul soarelui: în interiorul semicercului uriaş, aerul pare roz-galben, ca însuşi Soarele la asfințit, în afara lui aerul este albastru-cenuşiu, de culoarea cerului.

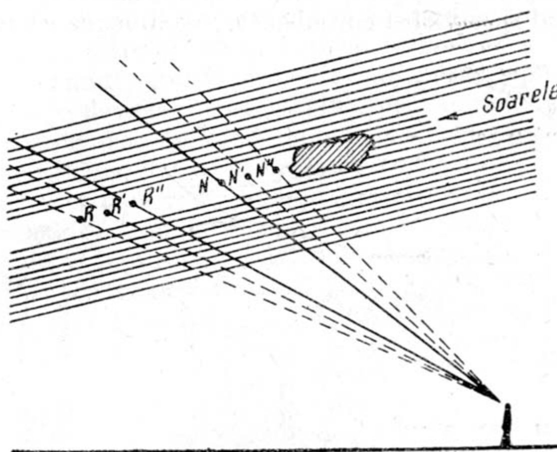


Fig. 127. Din cauza norului dintre Soare şi picăturile de ploaie pe cer se formează benzi radiale.

Uneori, în lumina difuză din interiorul primului curcubeu şi în afara celui de-al doilea se văd benzi radiale, puțin diferite ca culoare. Ele pot fi asemănate cu luminescența norilor care ascund după ei Soarele sau cu reflexiile produse de razele solare pe o apă curgătoare. Acest fenomen poate fi explicat uşor, dacă presupunem că undeva între Soare şi picăturile de ploaie plutesc nori mici (fig. 127). Picăturile care se află în umbra acestor nori nu pot emite lumină în direcția observatorului. Curcubeul, pe care acesta îl vede, este format de lumina tuturor picăturilor care se află pe raza sa vizuală, cu excepția picăturilor R; tot astfel, în al doilea curcubeu lipseşte lumina de la picăturile N; în lumina difuză lipseşte emisia picăturilor R', R" ... N', N" … etc. Din această cauză, în planul care trece prin ochiul observatorului, Soare şi nor, toate fenomenele sînt mai slabe: apare o umbră de forma unei raze, a cărei prelungire trece prin punctul antisolar, adică prin centrul curcubeului.

141. Polarizarea luminii în curcubeu[3]

---

[1] Vezi „Nature", **109,** 309, 1922.
[2] Vezi, de exemplu, în Muzeul rus din Leningrad, pictura lui Savrasov intitulată Curcubeul.
[3] F. Rinne, „Naturwiss", 14, 1283, 1936.

Este foarte interesant să încercăm să vedem curcubeul reflectat pe o sticlă, dar nu pe o oglindă argintată, care nu este potrivită în acest scop, ci pe o bucată de sticlă obişnuită, înnegrită sau acoperită în spate cu o hîrtie neagră. Ea trebuie ţinută aproape de ochi, astfel încît privirea să cadă pe ea sub un unghi mare faţă de normală (de exemplu 60°). Sticla poate fi ţinută vertical sau orizontal, ca în fig. 128. Privind spre vîrful curcubeului, vom vedea că în sticla orizontală, imaginea este foarte clară şi netă, în timp ce în sticla verticală ea este atît de slabă, încît devine aproape imperceptibilă. Aceasta arată că în diferite direcţii perpendiculare la direcţia de propagare lumina curcubeului are proprietăţi diferite, cu alte cuvinte ea este „polarizată".

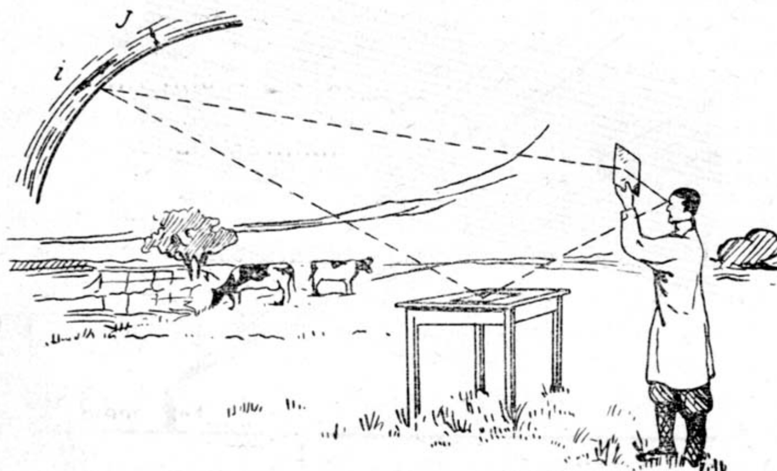


Fig. 128. Cum se observă polarizarea luminii curcubeului.

Există o cale mult mai uşoară pentru a efectua astfel de observaţii, şi anume cu ajutorul unei prisme nicol; aceasta este un mic aparat care ne ajută să vedem dacă lumina este polarizată. Putem să folosim, de asemenea, o placă de polaroid, care are din ce în ce mai largă utilizare pentru ochelari de Soare şi în tehnica fotografică. Nicolul se roteşte în jurul axei sale; într-o poziţie, curcubeul este foarte strălucitor, în alta, foarte slab. Ne putem imagina lumina complexă ca fiind compusă dintr-o lumină cu oscilaţiile într-o anumită direcţie i şi dintr-o lumină cu oscilaţiile în direcţia j perpendiculară la i. În primul curcubeu, raportul intensităţilor i/j este de 21/1, adică polarizarea este aproape totală. În al doilea curcubeu, ea nu este atît de intensă, deşi este perfect observabilă: raportul intensităţilor este 8/1. Ambele rezultate sînt în concordanţă cu teoria.

142. Acţiunea fulgerului asupra curcubeului

J.W. Laine[1] a făcut o observaţie remarcabilă. La fiecare descărcare electrică în timpul unei furtuni, marginile dintre culorile curcubeului dispăreau. Modificările erau deosebit de vizibile în arcurile suplimentare: intervalul dintre arcul violet şi primul arc suplimentar dispărea complet, iar arcul galben devenea mai strălucitor. Părea că întregul curcubeu vibrează. În conformitate cu tabelul din § 139, aceste modificări indică o creştere a mărimii picăturilor.

Acest efect optic nu apărea simultan cu fulgerul, ci cîteva secunde după acesta, o dată cu tunetul. Se poate presupune că, în urma vibraţiilor aerului, picăturile tind să se contopească, însă această tendinţă este atît de slabă, încît pare improbabil ca ea să dea un efect observabil. Este, de asemenea, posibil ca descărcarea electrică să producă o modificare a tensiunii superficiale a picăturilor, astfel încît ele se unesc mai uşor între ele, însă în acest caz egalitatea dintre intervalul de timp necesar pentru această modificare şi intervalul de timp între fulger şi tunet trebuie considerată întîmplătoare.

143. Curcubeul roşu

În ultimele 5—6 min înainte de asfinţitul Soarelui, toate culorile curcubeului, în afară de cea roşie, încep să dispară şi, în sfîrşit, rămîne numai un singur arc — cel roşu. Uneori el este foarte strălucitor şi rămîne vizibil chiar 10 min după apusul Soarelui. Desigur, părţile inferioare ale arcului sînt în acest timp acoperite, astfel încît curcubeul pare să înceapă la o anumită înălţime deasupra orizontului. În felul acesta, natura ne prezintă spectrul luminii solare şi ne arată cum variază el în timpul apusului Soarelui. Aceste modificări sînt produse de difuzia în atmosferă a luminii cu lungimi

[1] J. Laine, „Phys. Zs.", 10, 965, 1909.

de undă mai mici (§ 189).

144. Curcubeul cețos sau alb

Atunci cînd picăturile sînt foarte mici, curcubeul arată cu totul altfel. Aceasta se vede deosebit de bine dacă stăm pe o colină, astfel încît o pantă a ei să fie iluminată de Soare, iar cealaltă, precum şi poalele, să fie scufundate în ceață. Curcubeul arată atunci ca o bandă albă, de două ori mai lată decît un curcubeu obişnuit, portocalie înspre marginea exterioară şi albastră înspre cea interioară. Dinspre partea interioară se pot vedea adeseori unul sau două arcuri suplimentare; spre surprinderea noastră, ordinea culorilor este aici inversă față de cea obişnuită în primul curcubeu (la început verde, apoi roşu).

Aceste particularități concordă în mod neaşteptat cu calculele teoretice pentru picături cu raza de 0,025 mm şi mai mici (vezi § 139). Pentru astfel de picături foarte mici arcul nu va mai fi de 42°; el începe să scadă şi deoarece „mic" înseamnă aici „apropiat de lungimea de undă a luminii", efectul este mai pronunțat pentru razele roşii decît pentru cele albastre. Prin urmare, banda roşie trebuie să aibă în arcurile suplimentare un diametru mai mic decît banda albastră şi trebuie să se afle în interior.

Cine are prilejul să vadă acest fenomen încîntător poate efectua cîteva măsurători pentru determinarea diametrului arcului 2 6 (în grade; vezi § 265). Cel mai precis poate fi măsurat inelul negru dintre primul curcubeu şi primul arc suplimentar. Din valoarea obținută cu ajutorul formulei

$$a = 0,31 / (41^{o}44' - \theta)^{1/2}$$

putem calcula raza picăturilor (în milimetri). (O altă cale constă în aceea că luăm valoarea medie între marginile albastre şi portocalii ale curcubeului, însă în acest caz numărătorul din formulă trebuie luat egal cu 0,18).

Este surprinzător faptul că putem vedea curcubeul alb chiar şi la o temperatură foarte joasă (—34°C); aceasta înseamnă că picăturile de apă în atmosferă pot fi puternic suprarăcite. Curcubeul se vede şi atunci cînd ceața este atît de rară, încît observatorul este convins că ea nu există!

Curcubeul alb apare aproape întotdeauna cînd raza orbitoare a unui reflector, aşezat în spatele nostru, pătrunde prin ceața din fața noastră. Chiar şi un felinar de stradă obişnuit creează adeseori un curcubeu alb, deşi mai slab, şi numai pe un fond întunecat. Unul din cititorii mei a observat un curcubeu alb la lumina unei lămpi de petrol, iar Tyndall a observat un astfel de curcubeu produs de o luminare. Dacă ceața se vede pe un fond întunecat, curcubeul alb poate fi văzut uneori ca un cerc întreg; cîțiva metri între ochii noştri şi pămînt sînt suficienți pentru ca acest fenomen să apară. În cazuri foarte rare se observă un curcubeu alb dublu.

145. Curcubeul pe rouă sau curcubeul orizontal

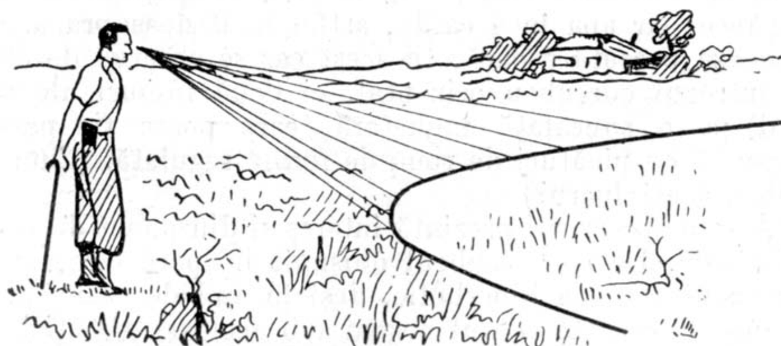


Fig. 129. Curcubeul pe rouă.

În diminețile de toamnă, iarba este acoperită de milioane de pînze de păianjen care pot fi observate numai datorită faptului că — fiind presărate cu picături de rouă — ele strălucesc în razele Soarelui (§ 35).

Dacă privim iarba dintr-o anumită direcție, putem vedea cum ea sclipeşte ca satinul. Avem în față, de fapt, o porțiune de curcubeu. Uneori, reuşim să vedem întregul curcubeu pe iarba acoperită de rouă, care însă nu ia forma unui cerc, ci a unei hiperbole late (fig. 129).

Explicația este simplă: lumina ajunge în ochiul nostru atunci cînd raza formează cu axa

„Soare-ochi" un unghi de 42°. Atît timp cît Soarele nu este prea sus pe cer, acest con intersectează suprafaţa Pămîntului după o hiperbolă. În cursul zilei, ea se transformă într-o elipsă, deşi această transformare se observă foarte rar. Rugind pe cineva să vă ajute să observaţi şi să măsuraţi curba pe Pămînt, vă puteţi convinge, determinînd înălţimea Soarelui, după timpul observaţiilor, că această curbă este o hiperbolă corespunzătoare unui con cu unghiul la vîrf de 42°. Urmăriţi cum creşte lăţimea benzii colorate pe măsură ce creşte distanţa faţă de observator, într-un caz s-a observat pe rouă un curcubeu alb şi arcuri suplimentare[1].

Curcubeul pe rouă a fost observat şi în următoarele împrejurări:

a) pe un iaz acoperit de lintiţă;
b) pe un iaz avînd suprafaţa acoperită cu o pojghiţă uleioasă, pe care picăturile de rouă se pot aşeza fără să se amestece cu apă; o asemenea pojghiţă poate să provină, de exemplu, de la fumul fabricilor, într-un caz, dimensiunile picăturilor variau de la 0,1 la 0,5 mm, 20 de picături pe centimetru pătrat creau un curcubeu foarte clar;
c) dis-de-dimineaţă, pe un lac sau pe mare, cînd aerul este rece, iar apa încă caldă, astfel încît deasupra apei se formează o ceaţă uşoară. În acest caz se observă de obicei nu întregul curcubeu orizontal, ci două ramuri ale sale;
d) pe o suprafaţă îngheţată, care poate fi, pare-se, acoperită cu picături de rouă de formă regulată. (Cum este posibil acest lucru?)

Aceste observaţii prezintă interes şi din punct de vedere psihologic. De ce curcubeul obişnuit ne pare circular, iar curcubeul pe rouă hiperbolic, deşi în ambele cazuri razele de lumină cad în ochiul nostru sub aceleaşi direcţii? Aici intervine un element psihic care constă în aceea că noi sîntem înclinaţi întotdeauna să îmbinăm rezultatele observaţiilor directe cu ceea ce ne aşteptăm dinainte să observăm. Cînd vedem curcubeul pe rouă, ne aflăm sub influenţa gîndului că fenomenul luminos are loc într-un plan orizontal şi în mod inconştient ne întrebăm: care trebuie să fie forma curbei luminoase pe iarbă, pentru ca să vedem fenomenul aşa cum îl vedem? Răspunsul este, desigur, următorul: o elipsă sau o hiperbolă. „Dacă noi am vedea numai fenomenul luminos şi nu am şti nimic despre originea sa, am ajunge la concluzia că avem de-a face cu un cerc" (Stokes). O evaluare stereoscopică a distanţelor pînă la picăturile izolate şi pînă la conglomeratele de picături ne-ar ajuta în mod cert să localizăm curcubeul pe rouă în planul orizontal.

Vezi § 147 în legătură cu curcubeul reflectat pe rouă.

146. Curcubeul reflectat şi curcubeul de la Soarele reflectat

Dacă un curcubeu este vizibil într-un nor în direcţia punctului A (fig. 130), urmărind imaginea peisajului reflectată într-o apă liniştită, vom vedea curcubeul în direcţia punctului 5, astfel încît el va apărea mai jos în norul reflectat decît în cel real.

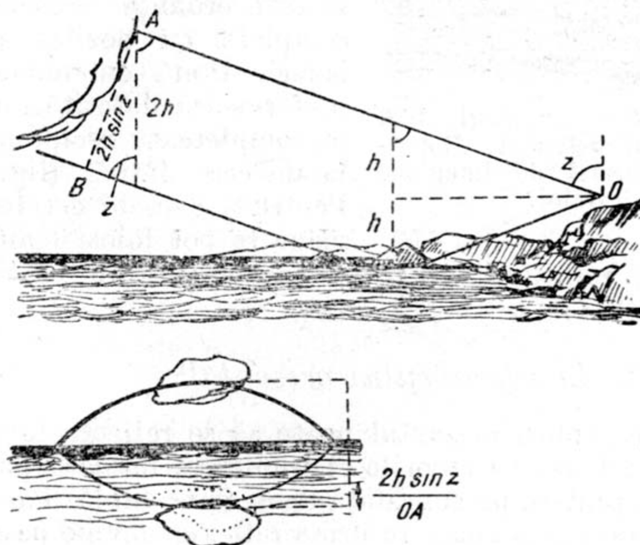


Fig. 130. Curcubeul reflectat.

Aceasta se întîmplă pentru că, aşa cum am mai spus, curcubeul nu există ca un obiect real în

[1] W. J . Humphreys, „J. Franklin Inst.", 20, 661, 129.

planul norului, ci este parcă situat la infinit. Riguros vorbind, de fapt se deplasează norul, în timp ce imaginea curcubeului este perfect simetrică față de orizont. Deplasarea norului se observă mai uşor dacă ne aflăm la o anumită înălțime h deasupra apei. Putem chiar calcula distanța O A pînă la nor, apreciind deplasarea sa în unități unghiulare, deoarece deplasarea unghiulară este egală cu 2 h sin z / OA (fig. 130).

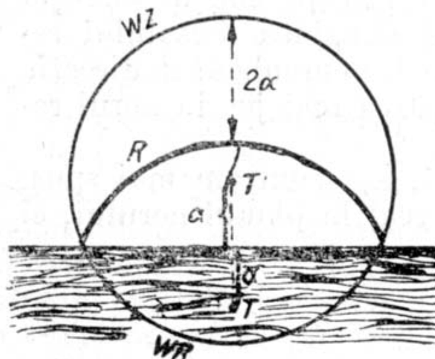


Fig. 131. *R* — curcubeul, *WR* — curcubeul reflectat, *WZ* — curcubeul format de imaginea Soarelui.

Un efect cu totul diferit apare însă cînd razele solare se reflectă înainte de a provoca apariția curcubeului. Curcubeul deplasat WZ va avea în acest caz centrul în punctul T', care este imaginea punctului antisolar T (fig. 131). Acest arc ocupă mai mult decît un semicerc. Distanța dintre vîrfurile celor două arcuri este egală cu unghiul dintre T şi T', adică cu 2α, unde α este înălțimea Soarelui deasupra orizontului. În multe cazuri, arcul deplasat se vede numai parțial, de exemplu se văd numai vîrful sau numai capetele sale. Aşadar, cînd vedeți un curcubeu neobişnuit, amintiți-vă înainte de toate de posibilitatea unei astfel de reflexii. Căutați în apropiere iazuri mai mari şi încercați să puneți în concordanță arcurile imcomplete cu poziția acestor iazuri. Două curcubeie care se formează datorită reflexiei se completează reciproc pînă la un cerc întreg (fig. 131). Pentru a deosebi aceste fenomene se pot folosi denumirile „curcubeul reflectat" (WR) şi „curcubeul de la Soarele reflectat" (WZ).

147. Reflexia curcubeului orizontal[1]

Şi un curcubeu orizontal poate să se reflecte în apă şi atunci hiperbola, cu culorile ei frumoase, formată pe picăturile care plutesc pe suprafața apei, pare dublă. Faptul că curcubeul mai slab apare în urma reflexiei devine pe deplin evident, dacă reuşim să observăm curcubeul orizontal pe o suprafață înghețată; în acest caz, al doilea curcubeu dispare.

Distanța unghiulară dintre curcubeie este egală cu dublul înălțimii Soarelui, însă deoarece în acest caz picăturile se află pe suprafața apei, nu se poate stabili imediat dacă reflexia a avut loc înainte sau după ce razele luminii au trecut prin picătura de apă. În ambele cazuri se formează o hiperbolă (vezi fig. 132); pe ambele figuri, raza reflectată formează un unghi de 42° — α.

Însă atunci cînd Soarele se află la o înălțime destul de mare pe cer (de la 21 la 42°), există două criterii:

a) O parte apropiată de vîrf din curcubeul reflectat lipseşte. Aceasta se explică prin faptul că atunci cînd razele se propagă pe drumul II, drumul razelor incidente, înainte ca ele să se reflecte şi apoi să pătrundă în picătură, este obturat parțial în S de însăşi picătura de apă. Dacă razele se propagă pe drumul I, acest fenomen caracteristic nu are loc.
b) Dacă observăm printr-o prismă nicol două puncte învecinate ale celor două curcubeie, se constată că direcțiile vibrațiilor luminoase diferă foarte mult şi, de regulă, nu sînt orizontale. Se poate arăta că aceasta este posibil numai în cazul cînd reflexia are loc înainte de refracție. Se pune problema: de ce în mod obişnuit razele mai întîi se reflectă? Cauza este simplă: în cazul I razele refractate lunecă chiar la suprafața apei şi sînt captate de picăturile vecine.

[1] „Sitz. Akad. Wien", 119,1057, 1910; W. J. Humphreys, „Journ. Franklin. Inst.", 207, 661, 1929.

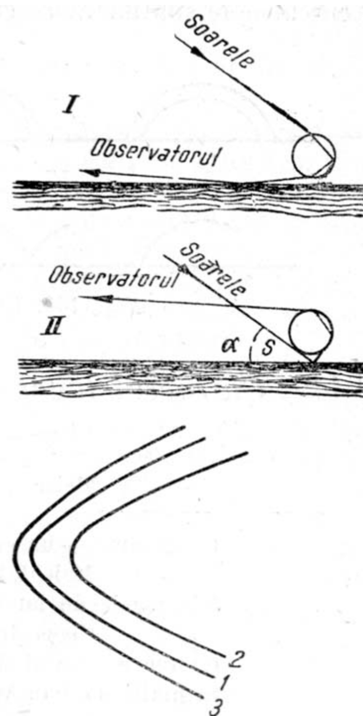


Fig. 132. Curcubeiele reflectate pe rouă: I — reflexia curcubeului; II — reflexia Soarelui creează curcubeul.

Cînd Soarele se află aproape de orizont, razele luminoase pătrund în picătură şi apoi se reflectă. Vîrful curcubeului reflectat este ecranat şi în acest caz însă gradul de polarizare este altul. Pînă în prezent acest caz nu a fost supus unui studiu amănunțit.

148. Fenomenele de curcubeu neobişnuite

În fig. 133 sînt reprezentate cîteva imagini de curcubeie de formă neobişnuită, determinate parțial de reflexia pe suprafața apei; după părerea mea însă, pînă în prezent nu s-a dat o explicație satisfăcătoare acestor fenomene. Iată un motiv în plus ca să tratăm cu mai multă atenție fenomenele de acest gen ! Deosebit de important este să observăm aşezarea relativă a marginilor roşii şi violete ale curcubeului neobişnuit. Urmăriți în mod special coloana de lumină verticală care se ridică în sus de la poalele curcubeului şi curcubeiele suplimentare care se întind pe suprafața mării.

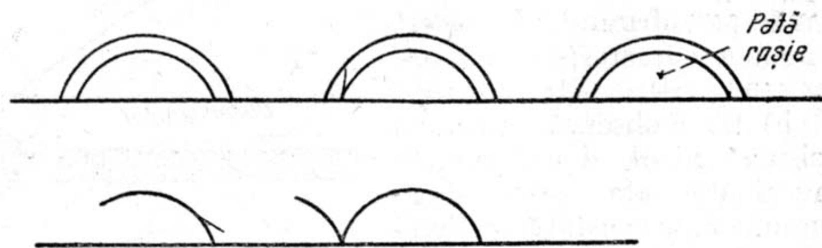


Fig. 133. Curcubeie neobişnuite.

149. Curcubeul lunar

Meier
A, ba da!
O, doamne — un curcubeu în miez de noapte!
Melchtal
Din razele de lună izvorăşte.
Claus de la Flue
Ce rar e semnul ăsta, ce minune,

Şi mulţi nu l-au văzut măcar!
Sewa
Ia uite,
Deasupra e un altul, dar mai şters.
(Schiller, Wilhelm Tell, **actul II)**

Luna dă naştere la curcubeie la fel ca şi Soarele, însă acestea sînt, evident, foarte slabe. De aceea, ele pot fi văzute practic numai pe timp de lună plină, din acelaşi motiv ele sînt rareori colorate: obiectele slab luminate par de obicei noaptea incolore (§ 89).

Nu le confundaţi cu haloul! Curcubeul este vizibil numai în partea opusă Lunii!

Raza curcubeului lunar poate fi determinată cu mare precizie dacă undeva, în apropiere, există o stea strălucitoare (vezi § 151),

Haloul

150. Descrierea generală a fenomenului de halo[1]

După cîteva zile frumoase de primăvară, barometrul coboară şi începe să bată un vînt din sud. În apus apar nori înalţi, transparenţi şi rapizi, cerul devine treptat alb-lăptos şi opalescent, datorită voalului de nori cirrostratus. Soarele pare că străluceşte printr-o sticlă mată, formele sale devin difuze. Peisajul este învăluit într-o lumină deosebită, greu de definit. Eu „simt" că în jurul Soarelui trebuie să existe un halo! Şi aproape întotdeauna am dreptate.

În jurul Soarelui se poate vedea un inel strălucitor cu o rază ceva mai mare de 22°. Pentru a-1 privi, cel mai bine este să stăm în umbra unei case sau să ţinem mîna în fata Soarelui, pentru a nu fi orbiţi de lumina să puternică (§ 177). Este o privelişte încîntătoare! Oricine vede pentru prima dată acest inel i se pare grandios — cu toate că nu este decît „un halo mic"; alte fenomene de halo au dimensiuni mult mai mari. Întindeţi în faţa voastră mîna cu degetele răsfirate şi veţi vedea că distanţa dintre capătul degetului mare şi al celui mic este aproximativ egală cu raza haloului în jurul Soarelui (vezi § 265).

Puteţi să vedeţi un cerc asemănător şi în jurul Lunii. Mă gîndesc nu la o aureolă cu diametrul de cîteva grade, cu o margine roşie în interior şi una albastră în exterior, ci la un inel la fel de mare ca haloul din jurul Soarelui pe care l-am descris mai sus. O singură dată un observator a avut norocul să vadă în acelaşi timp un inel în jurul Soarelui care apunea şi un inel în jurul Lunii pline care răsărea.

Astfel de inele pot fi observate mai des decît se crede în mod obişnuit. S-a stabilit că în emisfera noastră un observator obişnuit, dacă face observaţii în mod constant, vede, în medie, un balo la fiecare patru zile, iar în aprilie şi mai chiar două pe zi; unii, înzestraţi cu mai mult spirit de observaţie, văd halouri în 200 de zile pe an. Nu pare oare de necrezut că sînt atîţia oameni care n-au observat niciodată un halo în jurul Soarelui?

În afară de haloul mic, există şi alte arcuri şi pete luminoase, fiecare cu denumirea sa, care se combină dînd naştere la diverse fenomene de halo; pe fig. 134 se arată cum apar pe bolta cerească cele mai importante dintre ele. Le vom descrie pe scurt mai tîrziu. Trebuie avut în vedere că, de obicei, numai cîteva din ele se observă simultan. Majoritatea acestor fenomene se observă în jurul Soarelui; în jurul Lunii ele sînt mult mai slabe şi culorile lor sînt practic de nedistins[2].

---

[1] Diverse date despre halo pot fi găsite în cartea R. Meyer, Die Haloerscheinungen, Hamburg, 1929. Vezi, de asemenea, M. Pinkhof, „Verh. Akad. Amsterdam", 13, nr. l, 1919; E. W. Woolard, „Month. Weather Rev." 64, 321, 1936, 65, 4, 1937.

[2] [1]C.A. Van den Bosch, „Natuurk. Tijdschr. voor Ned. Indie", 92, 39, 1932, a observat cîteva halouri lunare colorate.

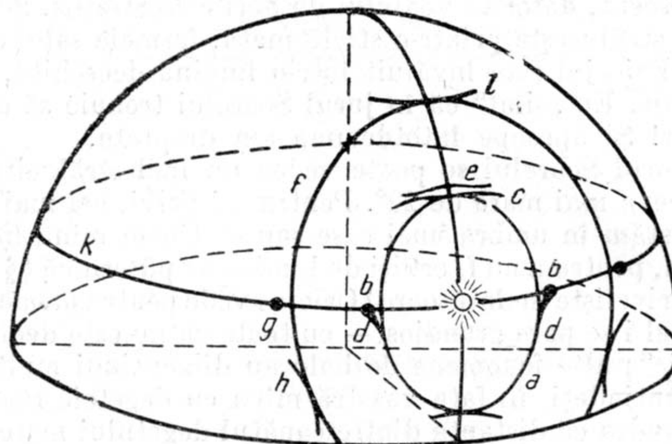


Fig. 134. Reprezentarea schematică a cîtorva fenomene de halo mai importante.

În general, halourile apar în voalul norilor cirrostratus, rareori în norii cirrus, cirrocumulus sau altocumulus; ele pot fi observate şi pe vîrfurile norilor cirrus de furtună, aceasta însă foarte rar. Toţi norii pe care apar halourile sînt constituiţi din cristale de gheaţă mici, a căror forma regulată determină simetria remarcabilă a acestui fenomen luminos. Cauza pentru care atît de mulţi nori cristalini nu prezintă de obicei fenomenul de halo constă în aceea că fulgii mici de zăpadă şi conglomeratele sferice de cristale au o formă mult prea neregulată pentru a refracta lumina ca o prismă; în afară de aceasta, pe cristalele foarte mici haloul este „şters" de difracţie.

Fotografiile halourilor au o mare importanţă din punct de vedere ştiinţific. Ele se folosesc pentru măsurători precise ale unghiurilor şi pentru determinarea intensităţii luminii. În acest scop, placa fotografica trebuie să fie riguros perpendiculară la axa camerei şi distanţa dintre placă şi obiectiv trebuie să fie cunoscută exact. Trebuie folosit un obiectiv cu deschidere mare, un filtru galben şi plăci pan-cromatice antihalo. S-ar putea ca şi plăcile de dispozitive să corespundă acestui scop. Timpul de expunere cu un filtru galben dens şi o diafragmă F:12 este de circa 0,01 s pentru Soare; pentru Lună, la o diafragmă F:6, expunerea este de 10 s. Încercaţi să obţineţi pe fotografie şi o parte a orizontului sau cel puţin copaci sau siluete de case.

151. Cercul mic (fig. 134, a; fotografia XV)

Aceasta este forma cea mâi obişnuită de halo. Inelul este închis, în afară de cazurile cînd norii cirrostratus sînt distribuiţi neuniform pe cer; el este de obicei mai strălucitor în partea de sus sau de jos, la stînga sau la dreapta, mai rar în direcţiile intermediare. Marginea interioară este destul de bine delimitată; ea este colorată în roşu. După ea urmează o fîşie galbenă, nu prea intensă, care trece în alb. Raza inelului mic poate fi măsurată cu ajutorul uneia din metodele indicate în § 265, cel mai comod de la centrul Soarelui pînă la marginea interioară roşie; cele mai bune măsurători dau 21°50'.

Noaptea, raza haloului poate fi determinată foarte precis, dacă avem şansa să observăm coincidenta poziţiei unei stele oarecare cu marginea roşie sau cu punctul de strălucire maximă al haloului. Trebuie numai să notăm denumirea stelei (determinînd-o, dacă este nevoie, cu ajutorul unei hărţi stelare) şi timpul. Cu aceste date, orice astronom poate calcula imediat la ce distantă erau unul de celălalt cei doi aştri (steaua şi Luna) în acel moment (vezi fig. 138).

Observaţi că cerul în interiorul haloului mic pare adesea mai întunecat decît în afara sa. În cazurile cînd aceasta nu se întîmplă, haloul se suprapune peste o lumină difuză a cărei strălucire scade pe măsură ce ne depărtăm de Soare. Acest fenomen aminteste foarte mult de cel observat la curcubeie (cerul este mai întunecat între cele două curcubeie) şi se explică într-un mod asemănător.

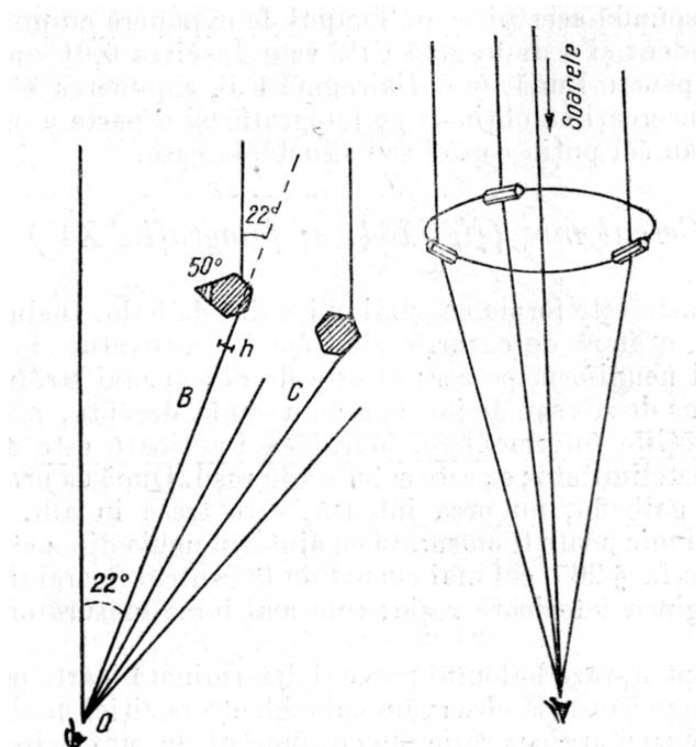


Fig. 135. Cum apare haloul mic sau cercul de 22°.

Haloul mic apare în urma refracţiei luminii solare într-un nor de mici cristale de gheaţă care, precum se ştie, au adeseori forma unor prisme hexagonale, întoate direcţiile, oriunde am privi, plutesc o mulţime de astfel de prisme orientate arbitrar (fig. 135). Ele refractă lumina ca o prismă cu unghiul de refracţie de 60°; în funcţie de poziţia lor faţă de razele incidente, ele le deviază mai mult sau mai puţin, Însă dacă drumul razelor prin cristal este simetric, devierea are o valoare minimă D, dată de formula[1]:

$$n = \sin(½*(A+D)) / \sin ½A$$

unde n este indicele de refracţie al substanţei din care este făcută prisma, iar A este unghiul de refracţie. Pentru A = 60° şi un indice de refracţie w = 1,31, obţinem D = 22°, adică exact raza haloului mic.

Într-adevăr, ca şi în cazul curcubeului, razele OB care suferă devierea minimă vor fi mai strălucitoare, deoarece, în această poziţie, direcţia razei refractate variază foarte încet la rotaţia prismei. Datorită acestui fapt, un număr mult mai mare de cristale de gheaţă vor trimite spre ochiul nostru lumină în această direcţie şi în direcţii apropiate de ea decît în alte direcţii. Calculele noastre au fost efectuate pentru raze galbene. Pentru cele roşii, unghiul de deviere minimă este ceva mai mic; pentru cele albastre — ceva mai mare. De aceea, marginea interioară a haloului este roşie, cea exterioară albastră. Deoarece însă razele OC cu o deviere mai mare decît cea minimă aduc şi ele contribuţia lor, razele verzi şi albastre cu „deviere minimă" se amestecă pe o anumită porţiune cu cele galbene şi roşii, astfel încît culorile apar şterse. O parte mică a luminii va cădea în diferite alte puncte în afara inelului, însă nu în interiorul său. Prin aceasta se explică marginea netă a porţiunii interioare a inelului şi forma difuză a părţii exterioare. Dacă însă cristalele nu sînt orientate în spaţiu în mod arbitrar, ci există o anumită orientare privilegiată a lor, se produce o anumită diferenţiere a strălucirilor în exteriorul inelului mic şi apar petele luminoase şi arcurile, la studiul cărora vom trece acum.

Înainte de aceasta însă, sa vedem dacă şi aici joacă vreun rol difracţia, analog cu ceea ce se întîmplă în cazul curcubeului[2].

Din punct de vedere teoretic, difracţia trebuie să se manifeste astfel: cristalele de gbeaţă lasă

---

[1] Această formulă se găseşte în manualele de fizică sub denumirea de formula „unghiului devierii minime a unei prisme".

[2] Visser, „Verst. Acad. Amsterdam", **25,** 1328, 1917; **27,** 127, 1918. Un rezumat se găseşte în „Hemel en Dampkring", **15,** 17, 1917 şi **16,** 35, 1918.

să treacă numai un fascicul îngust de raze de lumină, de lățime h (fig. 135), şi undele luminoase trebuie să se difracte ca şi pe o fantă de lățime h. Cristalele de gheață foarte mici trebuie să creeze un halou alb cu margine roşie, precum picăturile mici de apă creează un curcubeu alb (§ 144). Mai mult, putem să ne aşteptăm la apariția unor arcuri suplimentare (secundare) în jurul cercului mic; într-adevăr, ele au fost observate uneori, însă calculele arată că ele trebuie să fie mai slabe decît la curcubeu şi trebuie să apară atît în exteriorul, cît şi în interiorul cercului. În interiorul cercului, pe un fond întunecat, arcurile se observă mai uşor. Observațiile de pînă acum indică o modificare a culorii şi lățimii cercului mic, însă numărul acestor observații este încă insuficient. Adeseori, pentru o apreciere mai bună a culorilor, este indicat să se privească printr-o sticlă afumată. Trebuie să se evalueze lățimea benzii fiecărei culori şi lățimea totală a inelului. Denumiți culorile după părerea dumneavoastră personală. Oare doi observatori denumesc culorile aceluiaşi halo întotdeauna în acelaşi mod? Deseori se confundă roşul cu portocaliul, albastrul cu violetul. Observați cît de rar se întîlneşte în halo culoarea galbenă!

Conform cu teoria simplă a refracției, în cercul mic trebuie să lipsească practic culoarea albastră şi cu desăvîrşire cea violetă; aceasta trebuie să fie valabil şi în ceea ce priveşte arcul tangent superior şi sorii falşi (§ 157).

Totuşi, observațiile arată uneori o culoare albastră foarte intensă, în special în arcul tangent superior şi în sorii falşi, ale căror nuanțe de culori sînt totdeauna nete. Teoria difracției explică apariția culorilor albastre şi violete (cu condiția ca cristalele sa aibă mărimea respectivă) ca şi colorarea mai intensă a arcului tangent şi a sorilor falşi. În sfîrşit, teoria difracției explică de ce culorile sînt uneori mai strălucitoare în haloul mic, iar alteori în cel mare; haloul mic este colorat mai intens atunci cînd fețele prismelor pe care are loc refracția sînt mai late, ca de exemplu la cristalele de formă plată; dacă însă fețele sînt înguste, cum se întîmplă la cristalele de forma unor bastonaşe, haloul mic devine palid, iar cel mare se colorează mai intens.

Lumina haloului mic este polarizată. Spre deosebire de curcubeu, în acest caz, oscilațiile sînt mai intense în direcția perpendiculară la inel decît în cea paralelă. Aceasta este uşor de înțeles, deoarece nu are loc nici o reflexie, ci numai două refracții. Cu toate acestea, efectul nu este nici pe departe atît de intens ca în cazul curcubeului.

După credințele populare, haloul mic constituie un semn de vreme ploioasă şi, cînd se spune „cu cît este mai intens haloul cu atît mai repede va ploua", se presupune că tocmai haloul mic şi nu coroana prevesteşte ploaia, într-adevăr, deseori prezenta norilor cirrostratus prevestesc o scădere a presiunii atmosferice; ploaia începe cam la 36 de ore după apariția haloului.

152. Parheliile sau sorii falşi în haloul mic (fig. 134b; fotografia XV)

Sorii falşi constituie două pete de lumină mai strălucitoare în haloul mic, la aceeaşi înălțime cu Soarele. Deseori se întîmplă să fie vizibil numai unul din ei; uneori haloul mic lipseşte, în timp ce parheliile sînt perfect vizibile. Intensitatea sorilor falşi este de obicei mare; ei sînt roşii la marginea interioară, apoi culoarea roşie trece în galbenă şi galbenul în alb-albăstrui.

La o observare atentă, se constată că, în realitate, parheliile se află ceva mai departe de Soare decît haloul mic, şi anume cu atît mai departe, cu cît este mai mare înălțimea Soarelui deasupra orizontului; cînd Soarele este foarte sus, distanța poate atinge cîteva grade.

Sorii falşi apar atunci cînd axele unui număr mare de cristale de gheață hexagonale sînt verticale. Aceasta se întîmplă în cazul cristalelor de forma unor „umbrele" care coboară încet sau în cazul cînd acele de gheață au forma unor bastonaşe cu cîte o adîncitură la unul din capete (fig. 136). Danjon a văzut cu ochii săi cristale care pluteau în aer ca nişte umbrele mici[1]. Alții consideră că raza pătrunde printr-o față laterală a cristalului, se reflectă în interior pe bază şi iese prin cealaltă fată laterală.

[1] „L'Astronomie", 68, 420, 1954. O altă explicație a fost dată de Visser, „Hemel en Dampkring", 44, 12, 1946.



Fig. 136. Cristalele de gheaţă care joacă un rol important în formarea sorilor falşi.

Trecînd prin astfel de prisme, razele luminoase nu mai urmează direcţia devierii minime, deoarece ele nu se află într-un plan perpendicular la axa cristalului. Dacă înălţimea Soarelui este h, „devierea minimă relativă" va fi dată de condiţia:

$$\sin \tfrac{1}{2}(A + D) / \sin \tfrac{1}{2} A = \sqrt{(n^2 - \sin^2 h) / (1 - \sin^2 h)}$$

adică lumina se comportă ca şi cum indicele de refracţie al cristalului ar fi ceva mai mare pentrurazele oblice (vezi § 151). Din această ecuaţie s-a obţinut următorul tabel:

Înălţimea Soarelui	0°	10	20	30	40	50
Distanţa de la parhelii pînă la haloul mic	0°	0° 20'	1 14	2 59	5 48	10 36

Datele concordă foarte bine cu observaţiile. Pentru înălţimi ale Soarelui mai mari de 40°, măsurătorile sînt, din păcate, foarte grele, deoarece fenomenul devine neclar; încercaţi să umpleţi acest gol! Soarele fals se observă deseori pe „norii artificiali" care se formează în spatele unui avion ce zboară la o înălţime mare.

153. Arcurile tangente orizontale la haloul mic. Haloul circumscris (fig. 134c)

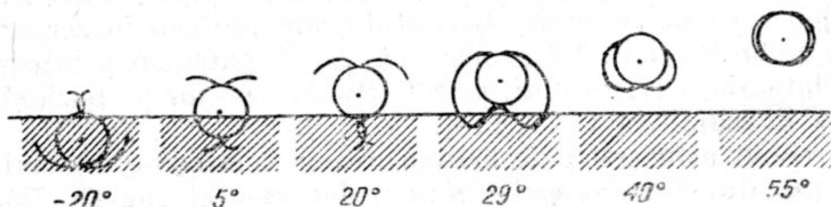


Fig. 137. Diferite forme ale arcurilor tangente orizontale ale haloului mic, în funcţie de înălţimea Soarelui.

Arcurile tangente relativ luminoase deasupra şi dedesubtul haloului mic apar în condiţii favorabile ca părţi ale unei curbe luminoase mult mai mari—haloul circumscris. Această formă foarte rară apare atunci cînd axele cristalelor hexagonale sînt orientate orizontal şi vibrează sau se rotesc puţin în jurul acestei poziţii, adică atunci cînd în locul cristalelor plate predomină cele lungi.

Forma haloului circumscris depinde sensibil de înălţimea Soarelui (fig. 137). Atunci cînd Soarele nu este prea sus pe cer, tot ceea ce se poate vedea este arcul tangent superior curbat în jos de ambele părţi: la înălţimi mari se poate vedea deja o figură eliptică. Porţiunile curbei sub orizont pot fi determinate prin calcul şi pot fi observate uneori de pe un munte unde există posibilitatea de a îndrepta privirea în jos (probabil, acest lucru este posibil în egală măsură şi de pe un turn sau dintr-un avion).

154. Arcurile tangente înclinate ale haloului mic sau „arcurile înclinate ale lui Lowitz" (fig. 134d)

Aceste arcuri mici pornesc înclinat de la sorii falşi şi sînt tangente la haloul mic; fenomenul este foarte rar; el poate fi văzut numai atunci cînd Soarele se află sus pe cer şi sorii falşi se găsesc la o

anumită distanță de haloul mic. Aceste arcuri apar atunci cînd micile prisme de gheață verticale, care produc sorii falşi oscilează puțin în jurul verticalei. Deseori vedem numai o alungire a sorilor falşi cu unu sau două grade. Arcul mic este înclinat față de orizont cu aproximativ 60°. Numai o singură dată arcul a fost foarte clar şi lung. De aceea, este necesar să observăm cu multă atenție sorii falşi pentru a putea vedea acest fenomen.

155. Arcul lui Parry (fig. 134 e)

Acest arc mic, puțin curbat, situat imediat deasupra haloului mic, poate fi văzut foarte rar! El apare atunci cînd prismele hexagonale au tendința nu numai de a pluti cu axa în direcția orizontală, dar şi de a-şi menține în poziție orizontală una din fețele lor laterale.

156. Cercul mare sau haloul de 46° (fig. 134f)

El pare de două ori mai îndepărtat de Soare decît haloul mic şi are aceleaşi culori; strălucirea sa este însă mai mică şi este mult mai rar vizibil. Sînt de dorit măsurători precise ale razei interioare. Acest halo mare se formează în acelaşi fel ca şi haloul de 22° (cercul mic), însă de data aceasta datorită refracției în prisme de gheață de 90°, orientate dezordonat. Cum se vede în fig. 139, acelaşi tip de cristale de gheață poate produce şi un halo mic şi un halo mare.

157. Sorii falşi ai haloului mare (fig. 134 g)

Ei se observă rar şi aceasta nu este de mirare: pentru apariția lor este necesar ca muchia cu unghiul de refracție de 90° să fie orientată vertical la un număr mare de cristale. Dacă ținem seamă de formele obişnuite ale cristalelor de gheață, pare aproape de neînchipuit că acest fenomen se întîlneşte în realitate.

158. Arcurile tangente inferioare ale haloului mare (fig. 134h)

Un alt fenomen rar. Aceste arcuri apar la o anumită orientare a cristalelor, atunci cînd şi axele şi fețele laterale sînt orizontale, iar unghiul de refracție este de 90°. În cazul cînd Soarele se află foarte sus pe cer, se poate vedea cum arcul se îndreaptă sau chiar capătă o concavitate orientată spre Soare.

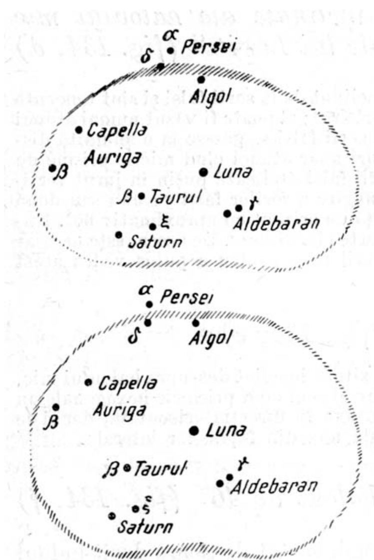


Fig. 138. Poziția haloului lunar față de stele („Onweders", **35**, 119, 1914).

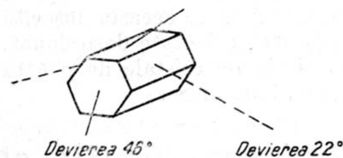


Fig. 139. Într-o prismă hexagonală, unghiul devierii minime a razelor luminoase poate fi de 22° sau de 46°.

159. Arcul tangent superior al haloului mare (fig. 134 i)

Acest arc apare numai atunci cînd în aer plutesc prisme drepte care au muchiile refractante orizontale şi oscilează în jurul acestei poziții. Arcul tangent este produs de prismele care sînt orientate în aşa fel, încît deviază razele sub unghiul de deviere minimă. Adeseori se observă arcuri care amintesc foarte mult de cel descris, însă care au o proveniență cu totul diferită; este vorba de arcul circumzenital al lui Bravais şi nu de arcul tangent adevărat.

160. Arcul circumzenital (Fig 134 j)

Este unul din cele mai frumoase fenomene de halo. Apare relativ, des, în special pe nori de furtună, şi are forma unui arc de curcubeu strălucitor colorat, paralel cu orizontul. Se iveşte de obicei la cîteva grade deasupra locului unde se aşteaptă apariția arcului tangent superior al haloului mare.

Pentru a explica producerea arcului în jurul zenitului trebuie să ne imaginăm cristale de forma unor plăci sau umbrele (fig. 136) care plutesc cu axele în direcție verticală. Raza solară se va refracta atunci pe prisme de 90°, însă în general nu în direcția devierii minime. Fig. 140 arată că

$$\sin i' = n \sin r' = n \cos r = n \sqrt{1 - \frac{\sin^2 i}{n^2}} = \sqrt{n^2 - \sin^2 i},$$

de unde rezultă imediat că unghiul total de deviere este i'+i - 90°. Pentru o înălțime a Soarelui H = 10° aceasta reprezintă circa 50°; pentru H = 20° unghiul scade pînă la 46° (valoarea minimă); pentru H = 30° el creşte din nou la 49°.

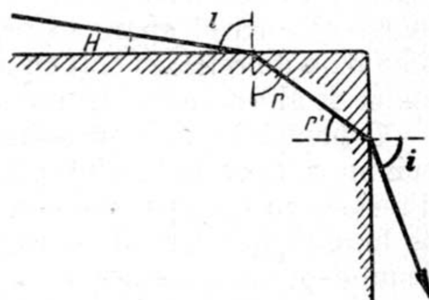


Fig. 140. Refracţia razei de lumină într-o prismă de gheaţă dreptunghiulară.

Pentru H = 32° formula noastră dă i' = 90° şi arcul dispare; practic el se observă numai la o înălţime a Soarelui de la 15 la 25°. Aceasta înseamnă că numai în cazul cînd Soarele este sus sau foarte jos, putem deosebi arcul circumzenital de arcul tangent superior al cercului mare (cu unghiul de deviere de 46°). Un criteriu bun îl constituie, de asemenea, şi faptul că arcul circumzenital adevărat este totdeauna însoţit de apariţia unor sori falşi. Aceasta este evident dacă ţinem seama de originea comună ambelor fenomene. Dacă norul care creează sorii falşi se ridică apoi pînă la înălţimea de 46°, apare aproape totdeauna arcul în jurul zenitului.

Conform teoriei curente, acest arc nu poate fi văzut pe o întindere mai mare decît un semicerc; în practică, el este redus la o treime de cerc, deşi se spune că de cîteva ori arcul ar fi fost observat sub forma unui semicerc (aşa-numitul arc al lui Kern).

Dacă avem norocul să observăm simultan şi un arc tangent şi arcul circumzenital, între ele trebuie să fie un interval de cîteva grade, într-adevăr, faptul că o dată s-a observat un arc lat, divizat pe întreaga sa lungime de o bandă întunecată care apărea brusc şi dispărea după un timp scurt, poate fi considerat un fel de record. Astfel de observaţii sînt foarte rare, deoarece pentru aceasta este necesar ca să existe simultan plăcuţe care plutesc orizontal şi plăcuţe orientate arbitrar.

161. Cercul orizontal sau parhelic (fig. 134 k)

Acesta este un cerc care se întinde paralel cu orizontul, la aceeaşi înălţime cu Soarele. Deşi uneori el poate fi urmărit pe toată lungimea sa de 360°, adesea porţiunea sa din apropierea Soarelui se observă greu, datorită faptului că cerul este foarte strălucitor. Faptul că cercul nu este colorat, arată foarte clar că el apare în urma reflexiei şi nu a refracţiei; planurile de reflexie sînt în acest caz feţele laterale ale prismelor de gheaţă care plutesc în aer cu axele orientate vertical.

O bandă luminoasă asemănătoare poate fi văzută, dacă privim o sursă de lumină printr-un geam şters într-o singură direcţie, cu o cîrpă unsuroasă sau observăm reflexia sursei de lumină într-o sticlă crestată. Benzile de lumină sînt totdeauna perpendiculare pe crestături.

Acest fenomen reprezintă un exemplu excelent al fenomenului optic general: razele de lumină care se reflectă pe un cilindru polizat formează o suprafaţă conică a cărei axă este însuşi cilindrul[1].

162. Coloanele solare

Coloanele de lumină verticale pot fi văzute foarte des la apusul sau răsăritul Soarelui, în special atunci cînd Soarele se ascunde în spatele unei case şi nu bate în ochi. Coloanele de lumină sînt în realitate incolore, însă atunci cînd Soarele este la o înălţime mică pe cer şi devine galben, portocaliu, sau roşu, coloanele capătă aceleaşi culori. Aceasta se întîmplă numai la o înălţime a Soarelui de 5°, mai rar la înălţimi de 15° sau mai mult.

Cînd Soarele se află la o înălţime mare, coloanele se văd rar. Pe de altă parte, adesea ele se văd bine cînd Soarele se află în realitate sub orizont. Coloane sub Soare apar rar; ele sînt mai scurte decît cele care se produc deasupra Soarelui.

---

[1] W. Maier („Zs. f. Meteor", 4, III, 1950) explică majoritatea fenomenelor de halo bazîndu-se pe această teoremă.

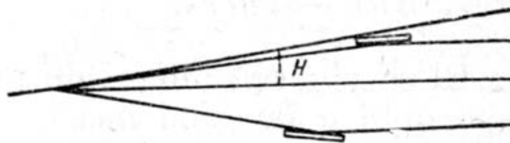


Fig. 141. Explicaţia cea mai simplă a formării coloanelor luminoase sub şi deasupra Soarelui.

Intensificarea întîmplătoare a strălucirii unei coloane de lumină în cazul cînd aceasta cade pe un nor dă senzaţia unei pete luminoase. Acest fenomen a căpătat denumirea de „Soare dublu". El poate fi observat mai bine atunci cînd pata se află sub Soare şi nu deasupra sa.

Să ne închipuim un nor de plăcuţe de gheaţă perfect orizontale care cad foarte lent. În aceste condiţii ele reflectă razele Soarelui, însă razele reflectate nu ajung în ochiul nostru. De îndată ce aceleaşi plăcuţe de gheaţă sînt înclinate faţă de orizont cu un mic unghi în toate azimuturile (fig. 141), razele reflectate suferă mici devieri în toate direcţiile şi dacă înclinarea rămîne mai mică decît H/2 (H fiind înălţimea Soarelui), sub Soare va apărea o coloană luminoasă, aproximativ în acelaşi mod cum apare o dîră luminoasă pe suprafaţa unei ape încreţite (§ 14); cînd înclinarea plăcuţelor depăşeşte H, vedem nu numai coloana sub Soare, dar şi o coloană mai slabă deasupra sa.

Această explicaţie este însă în două privinţe în discordanţă cu observaţiile. Înainte de toate, coloanele ar trebui să fie totdeauna mai strălucitoare sub Soare şi nu deasupra sa; în afară de aceasta, ele n-ar trebui să fie observate niciodată deasupra Soarelui, dacă înălţimea sa este mare, deoarece devierile plăcuţelor de gheaţă de la poziţia lor orizontală sînt relativ mici. Ambele afirmaţii sînt neadevărate.

Coloanele de lumină ar putea fi atribuite reflexiei duble, însă în acest caz (după cum se poate demonstra matematic), fenomenul luminos ar trebui să fie mult mai slab, iar coloanele mult mai late decît se întîmplă de obicei. O altă explicaţie ar fi aceea că ele apar pe plăcuţe de gheaţă care se rotesc rapid în jurul unei axe orizontale şi care în felul acesta sînt orientate în spaţiu în toate direcţiile posibile. În sfîrşit, s-a emis ipoteza că raza de lumină pătrunde în plăcuţele orizontale printr-o faţă laterală, se reflectă pe bază şi iese din nou printr-o altă faţă laterală. Presupunerea din urmă pare cea mai probabilă şi explică bine distribuţia de strălucire.

Coloanele de lumină par un fenomen simplu; dar cine şi-ar fi putut închipui că explicarea lor întîmpină atîtea greutăţi?

163. Crucile luminoase (fotografia XV)

Atunci cînd o coloană verticală şi o parte din cercul orizontal apar simultan, vedem pe cer o cruce. E de prisos să arătăm că oamenii superstiţioşi o văd mult prea des! Vom reveni asupra acestui fenomen în capitolele următoare.

El se observă numai de pe un munte sau din avion şi reprezintă o imagine incoloră, puţin alungită; Soarele se reflectă nu în suprafaţa unei ape, ci într-un nor! Un nor de plăcuţe de gheaţă care plutesc foarte liniştit pe cer (judecind după faptul că imaginea este relativ clară).

În împrejurări favorabile, se poate vedea o pată luminoasă eliptică, înconjurată de un inel de difracţie eliptic cu raza de 0,5—1°. Se pare că toate cristalele de gheaţă au aproximativ aceeaşi mărime şi acţionează ca un mic orificiu; observatorul priveşte sub un unghi faţă de orizont, astfel încît dimensiunile verticale se contractă şi imaginea de difracţie pare mai largă în această direcţie.

165. Soarele dublu

Uneori vedem o pată luminoasă imediat deasupra Soarelui, foarte rareori — sub el. Distanţa între Soare şi această pată nu depăşeşte 1—2°. În anumite cazuri excepţionale, deasupra discului solar există două sau chiar trei asemenea imagini. Se pare că acest fenomen este produs de modificările locale ale strălucirii unei coloane de lumină, datorite distribuţiei neuniforme a norilor.

166. Fenomene de halo foarte rare şi incerte

În afară de multiplele forme de halo deja amintite, vom enumera mai jos cîteva fenomene mult

mai rare, care apar cu o claritate uimitoare[1] în momente cu totul neprevăzute.

Cercurile în jurul Soarelui de 6-7°; 9-11,5° ; 15°, 16,5°; 18-20°; 24,5°; 27,5°; 33—34°. Cînd priviţi aceste cercuri slab luminoase feriţi-vă totdeauna de Soare; cercurile se formează în urma refracţiei în cristale de gheaţă piramidale orientate întîmplător. De aceea, deseori apar cîteva cercuri simultan.

Un cerc alb, de 90° în jurul Soarelui, uneori cu un arc tangent superior[2]. Un cerc în jurul Soarelui cu raza de 120°.

Anthelie — o pată luminoasă pe cercul orizontal în punctul opus Soarelui, de obicei incoloră şi foarte difuză.

Sori falşi pe cercul de 90°; la 33° de Soare; la 19° de Soare.

Pete luminoase albe (*parantheliile*) pe cercul orizontal la 120° de Soare; de asemenea, la 40° (?); 84-100° (?); 134° (?); 142° (?); 165° (?).

Soarele fals sub orizont, vizibil din avion sau de pe un munte ca imaginea unui soare fals obişnuit.

Coloane de lumină deasupra sorilor falşi şi deasupra antheliei. Sori falşi ai sorilor falşi (fenomene secundare de halo). Sori falşi aşezaţi în locul unde cercul mic şi coloana verticală intersectează orizontul.

Arcuri tangente superioare la cercurile 11,5° şi 24,5°[3].

Arcuri tangente la cercul mic al sorilor falşi.

Arcuri oblice prin Soare şi arcuri înclinate prin anthelie, de obicei albe; o dată însă s-au observat colorate.

Arcuri oblice prin Soare care coboară spre orizont în partea opusă Soarelui.

Arcuri în partea opusă Soarelui, adică arcuri în jurul antheliei, cu raza de 33°, 35°, 38°. * Arcuri neobişnuite în jurul zenitului la diverse înălţimi.

O elipsă în jurul Soarelui cu axa mare verticală de 10° şi axa mică orizontală de 8°.

Haloul lui Bouguer în jurul punctului antisolar, cu o rază de 35—38°. Uneori e greu să-l deosebeşti de curcubeul alb, însă haloul lui Bouguer este complet incolor, nu are arcuri secundare şi este însoţit de obicei şi de alte fenomene de halo.

167. Fenomene de halo oblice şi deformate

Uneori se observă coloane de lumină „verticale" care au o înclinaţie faţă de verticală pînă la 20° ! Aceste coloane ne amintesc de dîrele pe o apă agitată care se explică prin direcţia predominantă a valurilor; în cazul de faţă putem presupune, desigur, că cristalele de gheaţă nu plutesc orizontal, ci sînt purtate printr-o direcţie oblică de către curenţii de aer; cum se întîmplă în realitate acest lucru este greu de spus.

Se ştie, de asemenea, că arcul tangent superior poate să atingă cercul mic la 10—12° de punctul său superior.

Cercul orizontal este rareori înclinat faţă de orizont. O dată acest cerc a fost văzut la 1—2° sub Soare! S-a observat o dată un Soare fals pe cercul mic la 40 minute mai sus decît ar fi trebuit; fenomenul se vedea foarte clar, deoarece Soarele aproape apusese.

Este necesar sa mărim numărul de observaţii; trebuie în special să eliminăm cu grijă toate erorile subiective în aprecieri; trebuie să folosim firul cu plumb; fotografierea trebuie făcută ţinînd firul cu plumb la o mică distanţă în faţa camerei fotografice, astfel încît el să apară pe placă (puţin difuz).

168. Gradul de dezvoltare al fenomenelor de halo

Un observator neexperimentat supra-apreciază totdeauna regularitatea fenomenelor naturii: el îşi imaginează fulgii de zăpadă perfect simetrici, numără în curcubeu şapte culori şi vede trăsnetul în formă de zigzag. Tot astfel, există tendinţa de a descrie fenomenele de halo, considerîndu-le mai perfecte decît sînt ele în realitate. Totuşi este o mare deosebire dacă vedem întregul cerc al haloului mic sau numai o jumătate. „Imperfecţiunea" fenomenelor naturii este, de asemenea, guvernată de anumite legi, fiind şi ea o manifestare a regularităţii.

---

[1] O mulţime de observaţii interesante sînt descrise în revista „Hemel en Dampkring" şi în publicaţiile Inst. Meteor. Regal din Olanda „Onweders en Optische Verschijnselen"; un articol de sinteză: S. W. Visser, Optische Verschijnselen, 1957.

[2] F. I. Klinov, „Priroda", sept. 1955, p. 85.

[3] S. W. Visser, C. T. J. Alkemade, „Quart. Journ. Roy. Meteor. Soc.", 82, 92, 1956; „Hemel en Dampkring", 52, 92,1954.

De aceea, este important să observăm gradul de dezvoltare al fiecărui fenomen de halo, apreciind intensitatea şi întinderea părţii sale vizibile. Făcînd media rezultatelor obţinute din observaţii, putem elimina, în majoritatea cazurilor, influenţa neregularităţilor întîmplătoare în distribuţia norilor. De obicei cel mai frecvent se dezvoltă acele părţi ale halourilor a căror intensitate este maximă. Un halo deosebit de strălucitor este, în general, în acelaşi timp şi foarte mare. Straturile de nori rarefiate moderat sînt cele mai favorabile pentru apariţia halourilor; un strat de nori prea rarefiat conţine foarte puţine cristale, iar un strat foarte dens nu transmite suficientă lumină şi, în afară de aceasta, o difuzează în toate direcţiile.

Foarte interesant este faptul că partea superioară a cercului mic este vizibilă în medie aproximativ de 3 ori mai des decît partea inferioară. Se bănuieşte că aceasta s-ar ' datora faptului că drumul razelor prin stratul de nori este mult mai lung pentru partea inferioară; de altfel, aceasta poate constitui atît un avantaj, cît şi un dezavantaj.

169. Haloul în norii care se formează în urma unui avion

De multe ori au fost observate fenomene de halo în norii care se formează în urma avioanelor. Adesea se pot observa sori falşi, care apar uneori în toată splendoarea lor. Se pot vedea, de asemenea, cercul mare, cercul mic, arcul circumzenital şi antisoarele.

Din aceste observaţii rezultă că cristalele de gheaţă din dîra lăsată de avion sînt orientate, în majoritatea cazurilor, vertical.

170. Fenomenele de halo care apar aproape de ochi

Plimbîndu-se de-a lungul unei străzi înguste, un observator a zărit un halo în jurul Lunii, iar apoi, deodată, văzu că o parte a acestui halo se proiectase pe un perete întunecat, formînd un tot întreg cu restul haloului care se vedea pe fondul cerului. Acoperind Luna cu mîna, haloul putea fi văzut mai departe. Aşadar, fenomenul nu putea să ia naştere în ochi; după toate aparenţele, între ochi şi zid, doar la cîţiva metri deasupra Pămîntului, pluteau cristale de gheaţă.

Într-o seară rece (— 10°) s-a observat un halo foarte frumos în vaporii unei locomotive în gara din Utrecht. În jurul felinarului, unde norul de vapori se întindea în toate direcţiile, se putea vedea o suprafaţă luminoasă de forma unei ţigări de foi, cu un capăt lîngă ochi, iar celălalt în apropierea felinarului (fig. 142). Toate cristalele care treceau prin această suprafaţă erau iluminate; spaţiul în afara acestei suprafeţe era complet întunecat; conul tangent la suprafaţă avea un unghi la vîrf de circa 44°. Este clar că suprafaţa sub formă de ţigară este locul geometric al punctelor P pentru care suma unghiurilor O şi L ale triunghiului OPL este de 22°. Trăsătura remarcabilă a acestui fenomen constă în caracterul său tridimensional. El apare datorită faptului că sursa de lumină este aproape şi ochii observatorului, acţionînd simultan, diferenţiază diversele puncte luminoase şi apreciază distanţa pînă la ele.

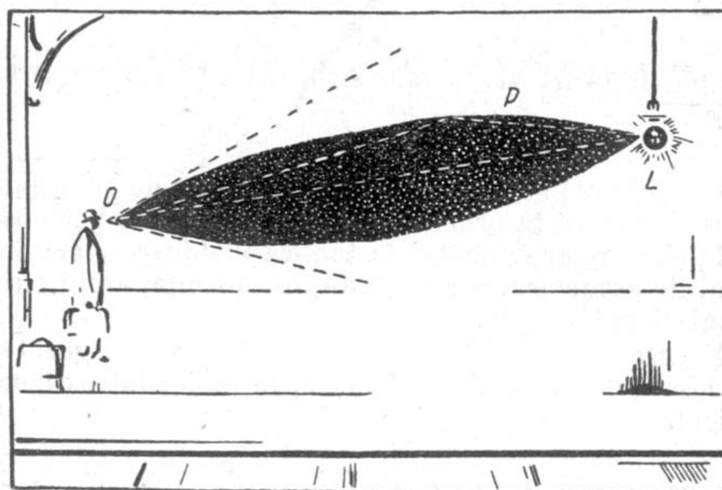


Fig. 142. Haloul mic observat în imediata vecinătate a ochiului.

În aceeaşi seară, într-o regiune mai liniştită a gării, în jurul felinarelor s-au observat cruci de

lumină. Acest fenomen nu este nou; în U.R.S.S. şi în Canada, iarna, la felinarele îndepărtate se văd deseori coloane de lumină care indică prezenţa în aer a unor mici cristale de gheaţă.

Haloul mic, sorii falşi, arcul tangent superior şi haloul mare au fost uneori observate în vîrtejurile de zăpadă.

Într-un caz, un observator a văzut, de asemenea, sub-soarele înconjurat complet de un halo de 22°. El era mai ceţos şi mai puţin colorat decît haloul obişnuit. Soarele avea o înălţime de numai 11° şi o parte a haloului era vizibilă în proiecţie pe fondul munţilor îndepărtaţi[1].

Este remarcabil că în asemenea cazuri sorii falşi se văd adesea sub forma unor coloane de lumină de culoarea curcubeului. Aceste coloane ating uneori înălţimea de 15°!

171. Fenomene de halo pe suprafaţa Pămîntului

Tot astfel cum vedem un curcubeu pe rouă, putem vedea uneori pe zăpada proaspăt căzută, în special dacă temperatura este joasă (— 12° sau chiar mai puţin), cercuri mari şi mici de forma unor arcuri hiperbolice (fig. 143). Ceva mai des, haloul se observă pe brumă. El poate fi văzut atunci cînd Soarele este aproape de orizont, cel mult la o jumătate de oră sau o oră după răsărit sau înainte de asfinţit.

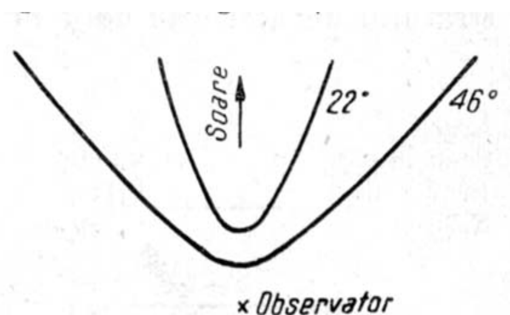


Fig. 143. Haloul mare şi mic apar pe pămîntul acoperit de zăpadă proaspătă sub formă de arcuri de hiperbolă.

Banda luminoasă constă dintr-o mulţime de cristale colorate care strălucesc în culori fermecătoare, în special în roşu şi brun-auriu, însă aceste culori nu par prea saturate. Dacă ne deplasăm, banda luminoasă se mişcă o dată cu noi.

Unghiul format de dreptele care pornesc de la ochi şi de la Soare spre cristal poate fi determinat prin măsurători simple; se poate arăta că razele luminoase se refractă sub un unghi de 22° (sau respectiv 46°). Studiaţi forma cristalelor cu ajutorul unei lupe, măsuraţi-le şi apoi desenaţi-le sau fotografiaţi-le.

Coroanele

172. Culorile de interferenţă în petele de ulei

Deseori, după ploaie, pe asfaltul umed şi întunecat al şoselelor putem vedea nişte pete care constau din cercuri concentrice colorate; diametrul petelor atinge uneori 50 cm. În anumite zile şi pe anumite şosele, petele sînt foarte frumoase, deşi, în majoritatea cazurilor, ele au o culoare albastră-cenuşie neatrăgătoare. Ele se datoresc, evident picăturilor de ulei provenite de la maşinile care circulă pe şosea. Fiecare picătură se întinde într-un strat foarte subţire şi compunerea luminii reflectate de suprafeţele superioare şi inferioare ale stratului produce apariţia culorilor de interferenţă, adică a renumitelor „inele ale lui Newton", aceleaşi care apar şi în culorile încîntătoare ale băşicilor de săpun. Explicaţia lor poate fi găsită în orice manual de fizică; ţin doar să menţionez că avem aici în faţa noastră o demonstraţie a faptului că lumina este şi de natură ondulatorie. Culorile sînt enumerate în tabelul ce urmează (în ordinea în care apar de la marginea petei spre centrul ei); grosimea stratului de ulei este dată în microni (1µ = 0,001 mm)

[1] Gaber, „Zs. f. Meteor", 8, 127, 1954.

I
Negru 0
Cenuşiu-pal 0,080
Brun-galben 0,115
Roşu 0,170
II
Violet 0,190
Albastru 0,210
Verde 0,270
Galben 0,305
Roşu 0,340
III
Violet 0,385
Albastru 0,400
Verde 0,455
Galben 0,505
Culoarea pielii 0,525
IV
Albastru-cenuşiu 0,595
Verde 0,655
Culoarea pielii 0,695
Albastru-verde-pal 0,820

Straturile de ulei sînt, aşadar, deosebit de subţiri la margine şi se îngroaşă spre centru. Uneori, chiar în centru, ele nu depăşesc prima treaptă a scării de culori. În alte cazuri, stratul este atît de gros încît, după culorile menţionate în tabelul nostru, rozul şi verdele alternează de cîteva ori, devin treptat din ce în ce mai pale şi se transformă în „culoarea albă de ordin superior", astfel încît în mijloc nu se mai văd inelele colorate.

Măsuraţi diametrul unei pete de formă regulată în zonele diferitelor culori şi apoi desenaţi la scară secţiunea transversală a stratului'de ulei (fig. 144). Repetînd măsurătoarea după 10 min, veţi constata că „movilita" de ulei a devenit mai plană. Urmăriţi cum, variază în timp o anumită culoare: veţi vedea că inelul se lărgeşte la început, iar apoi se îngustează. De ce? La sfîrşit veţi vedea o pată cenuşie, a cărei origine ar fi rămas o taină, dacă ea nu s-ar fi format chiar în faţa ochilor voştri l Cel mai bine este să observaţi o anumită pată şi să înregistraţi toate modificările ei. Pentru aceasta nu este nevoie de prea multă răbdare, în orice caz nu durează mai mult de o jumătate de oră. Feriţi pata de ciclişti şi pietoni! Dacă aveţi noroc, ea îşi va sfîrşi viaţa înainte ca să treacă peste ea o maşină.

Priviţi pata de ulei dintr-o parte; culorile se deplasează ca şi cum stratul ar deveni mai gros. Dacă priviţi sub un unghi şi mai mare, inelele colorate par contractate, astfel încît în fiecare punct, culoarea iniţială este înlocuită de culoarea unui inel mai gros. Încercaţi să explicaţi aceasta, calculînd diferenţa de fază pentru două raze interferenţe.

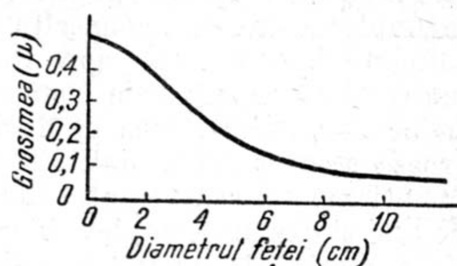


Fig. 144. Secţiune schematică printr-o picătură de ulei de pe asfaltul umed. Grosimea este măsurată cu ajutorul culorilor de interferenţă.

Un copil a atins pata cu degetul; culorile încep să se schimbe, dar revin la poziţia lor neaşteptat de repede; cantitatea de ulei micşorîndu-se întrucîtva, inelele devin puţin mai mici. Uneori vedem pete duble să fie legate între ele. Nu este nimic misterios în aceasta; este o pată obişnuită cu peste care a trecut roata unui automobil.

Noi putem reproduce singuri aceste inele frumoase. Picăturile de benzină sau picăturile de

terebentină pe suprafaţa unei ape produc culori deosebit de frumoase. Dacă însă încercaţi să folosiţi pentru această experienţă ulei — va aşteaptă o surpriză. Uleiul nu se întinde pe suprafaţa lichidului şi n-o sa vedeţi nimic, însă ceea ce se întîmplă pe suprafaţa apei trebuie să se întîmple şi pe şoseaua udă. Poate că petele pe şosea sînt produse de benzină şi nu de ulei? Din nou va aşteaptă o dezamăgire! Benzina produce numai pete albe-cenuşii (stratul de benzină este probabil foarte subţire), care nu seamănă de loc cu minunatele inele colorate. Un studiu detaliat a arătat că numai uleiul folosit, oxidat, scurs din maşină poate să se întindă pe o suprafaţă umedă. Cu cît uleiul este mai oxidat, cu atît este mai subţire stratul care se formează.

La o mare parte din petele de ulei se văd benzi radiale. Fiecare inel colorat, ca şi inelele albe-cenuşii din exterior, este separat de cel următor prin nişte „franjuri". La suprafaţa petelor de benzină curată de pe o sosea udă se formează în toate direcţiile proeminenţe şi adînciturі care cauzează apariţia benzilor radiale şi a franjurilor. Acelaşi fenomen poate fi observat deseori pe peliculele colorate care plutesc la suprafaţa unei ape murdare. Este posibil ca aici să acţioneze forţe moleculare complexe.

Culorile de interferenţă apar peste tot unde se formează pelicule subţiri, de exemplu în straturile subţiri de petrol sau benzină care plutesc pe suprafaţa apei. Liniile de culoare egală sînt linii de grosime constantă şi deformaţiile lor ne dau informaţii despre curenţii şi vîrtejurile din lichid. Dacă întîmplător apa este acoperită de o peliculă de ulei şi dacă totodată bate un vînt spre mal, putem observa culori de interferenţă deosebit de frumoase. Culorile sînt distribuite în benzi paralele, ceea ce demonstrează că pelicula se îngroaşă treptat către mal. Este interesant de urmărit cum încreţirea apei scade treptat îndată ce se apropie de ea stratul de ulei şi dispare complet chiar înainte ca apa sa înceapă sa fie acoperită de un văl cenuşiu.

Prin urmare, chiar şi un strat mai subţire de 0,08 μ este suficient pentru ca să dispară încreţirea unei pînze de apă.

Culori minunate pot fi văzute uneori pe suprafaţa înnegrită a unui coş vechi de aramă al unei locomotive. Se întîmplă oare aceasta datorită faptului că arama a fost încălzită iar apoi s-a oxidat? Sau pentru că pe coş s-a depus un strat de sulfuri, provenit din atmosferă şi din gazele de ardere?

173. Culorile pe un geam îngheţat[1]

Acest fenomen puţin studiat poate fi observat regulat în serile de iarnă reci (-10°), în tren sau în autobuz. Vaporii respiraţiei pasagerilor se condensează şi îngheaţă pe geamurile compartimentelor de tren. Fiecare felinar pe lîngă care trece trenul produce un joc minunat de culori: unele porţiuni ale stratului de gheaţă subţire capătă culoarea albastră a cerului, altele devin verzi sau roşu. Aceste culori par mai mult sau mai puţin uniforme pe o suprafaţă de circa 1 cm^2 şi toate sînt vizibile numai în lumina transmisă, nu şi în cea reflectată. Nuanţele sînt neobişnuit de pure şi frumoase. Fenomenul durează cîteva minute, apoi stratul de gheaţă atinge o grosime de cîteva zecimi de milimetru şi culorile dispar...

Dacă suflaţi pe un geam foarte rece, umezeala respiraţiei îngheaţă, formînd, probabil, la început, mici bulgari de gheaţă semisferici (a); după aproximativ 1/2 de minut, în stratul de gheaţă apar fisuri şi particulele de gheaţa se contopesc în mici grupuri (b) pînă ce, în sfîrşit, ele formează ace lungi, între care poate fi văzută gheaţa transparentă (c). Numai în stadiul b se văd culori; aceasta explică şi durata lor scurtă. O altă particularitate tipică constă în aceea că un felinar sau o altă sursă de lumină pare el însuşi colorat şi înconjurat de o aureolă în culoarea complementară. De exemplu, ziua, porţiunile strălucitoare ale peisajului înzăpezit par roz-roşietice, iar cele mai întunecate — verzi.

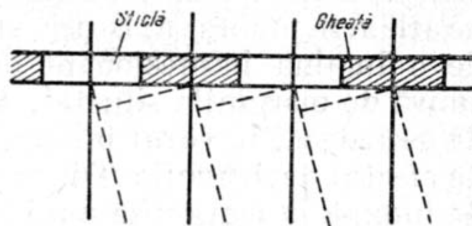


Fig. 145. Pentru explicarea apariţiei culorilor de interferenţă pe geamurile îngheţate.

Pentru a explica acest fenomen interesant vom presupune că pelicula este formată dintr-o

[1] Observaţiile lui C h. F. Brooks „Month. Weather Rev.", **63,** 49, 1925 şi Schlottman, „Meteor. Zs.", 10, 156, 1893.

mulțime de mici porțiuni eterogene, în cazul considerat din porțiuni de gheață şi de aer. O parte din raze trece prin gheață, iar alta prin aer, astfel încît se formează o diferență de fază datorită diferenței de viteză a luminii în aer şi în gheață. Interferența face să dispară o anumită culoare şi sursa de lumină se colorează în culoarea complementară. Difracția pe marginile porțiunilor dă o aureolă de lumină în jurul sursei. Presupunînd că grosimea peliculei este de circa 1μ şi distanța dintre particulele de gheață de 0,1 mm, putem interpreta culorile geamului înghețat ca „culorile plăcilor amestecate"[1].

În alte cazuri, cînd temperatura nu este atît de joasă, pe geamul de sticlă apar adevărate aureole, însă cu o ordine a culorilor neobişnuită.

174. Culorile de interferență în apa cu rugină

Apa brună din şanțuri, în locurile unde solul conține fier, este uneori acoperită de un strat subțire irizant, ale cărui culori palide amintesc de culoarea sidefului. Aceste culori se datoresc unei soluții coloidale de oxid de fier, ale cărei particule se unesc în mici plăcuțe plane, situate la o distanță de circa 1/4 lungime de undă de lumină una de alta. Acțiunea lor este aproximativ aceeaşi cu procesele care au loc la fotografierea în culori după procedeul lui Lippmann.

175. Difracția luminii

E noapte. În depărtare se aude zgomotul unui automobil ce se apropie de noi. Farurile lui aruncă fascicule orbitoare de lumină pe şoseaua largă. Un ciclist străbate întîmplător cîmpul acestor raze orbitoare, astfel încît, pentru o clipă, ne aflăm, în umbra sa. Brusc, silueta ciclistului este conturată de o lumină impresionant de frumoasă, care pare să fie emisă de marginile siluetei. Acelaşi efect poate fi observat, de asemenea, în cazul pietonilor şi al copacilor. Este vorba de efectul de difracție. Difracție se numeşte curbarea razelor de lumină la marginile unui ecran opac, astfel încît o parte din frontul de undă pătrunde într-un domeniu în care, conform legilor opticii geometrice, ar trebui să ne aşteptăm la umbră. Intensitatea luminii deviate este mare dacă unghiul de deviere este foarte mic, însă scade rapid la unghiuri mari. Efectul este deosebit de frumos dacă ciclistul este la o distanță mare de noi, iar automobilul se află departe în spatele său.

Un fenomen similar, dar la scară mai mare, poate fi observat într-o regiune muntoasă, unde aerul este curat. Stînd în umbra unei coline, veți vedea trăsăturile întunecate ale copacilor de pe colină pe fondul cerului de dimineață. Cînd Soarele este pe punctul să apară de după colină, copacii situați în locurile unde lumina este mai intensă sînt înconjurați cu o radiație strălucitoare albă-argintie[2].

Se spune că în Olanda tufele de drobița (*genista tinctoria*) pot prezenta un efect similar, dacă sînt privite dintr-o asemenea poziție încît să ne aflăm cu fața spre Soare.

176. Difracția luminii pe zgîrieturi mici (fig. 146)

Dacă priviți spre Soare prin geamul trenului, veți vedea în sticla geamului mii de zgîrieturi foarte subțiri, distribuite concentric în jurul Soarelui. Prin orice parte a geamului ara privi, imaginea va fi aceeaşi. De aici putem trage concluzia că geamul este acoperit peste tot de mici zgîrieturi, deşi noi observăm numai pe acelea care sînt orientate perpendicular la planul de incidență al razelor de lumină (vezi § 26). Aceasta se întîmpla datorită faptului că fiecare zgîrietură difuzează lumina într-un plan perpendicular la direcția sa proprie şi de aceea poate fi văzută numai de un observator aşezat în acest plan.

---

[1] R. Wood, Physical Optics, New York, 1905.

[2] Acest fenomen, observat de Folie, a fost la vremea sa obiectul multor discuții. El este descris în „Rep. Brit. Ass.", 42, 45, 1872; mai tîrziu în „Nature", 47, 364; „Zs. f. Meteor.", 12, 410, 1877; „La Nature", **21,** 58, 1893.


Fig. 146. Difracția luminii pe micile zgîrieturi ale geamului.

Cînd zgîrieturile sînt foarte fine, nu mai putem vorbi despre reflexie sau refracție. În acest caz, devierea razelor luminoase trebuie considerată mai curînd ca o difracție. Dacă privim cu atenție una din aceste zgîrieturi, vedem că în anumite direcții ea prezintă culori încîntătoare, în toate combinațiile posibile; folosindu-ne de un nicol sau un polaroid, constatăm că lumina este intens polarizată dacă direcțiile de incidență şi observație sînt oblice. Toate aceste fenomene sînt foarte complexe şi pot fi explicate numai parțial de optica teoretică. Fenomene de difracție asemănătoare puteți sa observați şi pe firele pînzelor de păianjen, care strălucesc toate în aceeaşi culoare. Aceasta demonstrează că diametrul unui astfel de fir este peste tot acelaşi.

177. „Coroanele"

Nori cirrus albi şi subțiri plutesc încet în fața Lunii. Privirea noastră este atrasă în mod involuntar de această parte iluminată a cerului, centrul peisajului nocturn. Şi de fiecare dată cînd apare încă un nor mic, vedem în jurul Lunii inele palide minunat colorate, al căror diametru este numai de cîteva ori mai mare decît diametrul Lunii.

Sa urmărim mai atent succesiunea acestor culori. În imediata apropiere a Lunii se observă o margine albastră, care trece într-una albă-gălbuie, care, la rîndul ei, are o margine exterioară brună. Această aureolă este coroana sub forma sa cea mai simplă şi cea mai des întîlnită. Ea devine într-adevăr remarcabilă atunci cînd este înconjurată de inele mai mari şi mai frumos colorate. Succesiunea acestor culori este indicată în tabelul de mai jos, care-coincide aproape exact cu scara newtoniană a culorilor de interferență, cu singura deosebire că meteorologii delimitează diferitele „ordine" într-un mod diferit decît fizicienii, şi anume astfel ca fiecare grup să se termine cu culoarea roşie. În cazuri foarte rare se pot observa trei grupe în afara aureolei („coroană cvadruplă"):

I. Aureola (albastră) — albă — (gălbuie) — brună-roşie
II. Albastră — verde — (galbenă) — roşie
III. Albastră — verde — roşie
IV. Albastră — verde — roşie

În realitate, gradațiile de culori variază din cînd în cînd; culorile date în paranteze se văd destul de rar. Cercetînd aceste modificări ale coroanelor, trebuie să ținem seama de fazele Lunii, deoarece ele determină caracterul mai mult sau mai puțin difuz al imaginii de difracție.

Metoda cea mai bună de evaluare a razei coroanei este să luăm ca punct de pornire marginea roşie care delimitează fiecare ordin, deoarece această culoare apare cel mai pronunțat, iar apoi sa comparăm mărimea coroanei cu diametrul Lunii însăşi (32'). Dimensiunile coroanelor variază mult: marginea brună a aureolei, de exemplu, poate avea o rază de numai 1°, în timp ce, în alte cazuri, ea ajunge pînă la 5°. Valorile extreme înregistrate sînt 10' şi 13°.

Coroanele în jurul Soarelui pot fi văzute foarte des, cel puțin tot atît de des ca şi în jurul Lunii, totuşi ele sînt observate mult mai rar, deoarece cu toții evităm, desigur, să ne uităm la lumina orbitoare a Soarelui. Şi totuşi, datorită strălucirii mari a Soarelui, coroanele solare sînt cele mai frumoase.

Observațiile pot fi uşurate, folosind una din metodele de mai jos:

a) se observă reflexia Soarelui într-o apă liniştită; astfel a făcut Newton celebra sa observație a coroanei din jurul Soarelui;
b) se foloseşte ca oglindă o bucată de sticlă neagră de marblit, polizată său ochelari de sudură sau, în sfîrşit, o bucată obişnuită de sticlă, acoperită pe spate cu lac negru. Pentru a mări cîmpul vizual, sticla trebuie ținută aproape de ochi;
c) se alege o sticlă de marblit sau ochelari de sudură atît de netransparenți, încît să putem observa Soarele fără a fi orbiți;
d) observațiile se fac cînd Soarele este ecranat de marginea unui acoperiş;
e) se priveşte într-un glob de grădină de la o distanță de 1—2 m, astfel încît capul să ecraneze imaginea Soarelui.

O aureolă slabă se observa la orice tip de nori. Ea este mai intensă la norii stratocumulus la care de obicei se vede slab şi un al doilea inel colorat. Coroanele cele mai frumoase, cu nuanțe uimitor de pure, apar în norii altocumulus. Coroane au fost observate şi în nori cirrostratus.

Uneori se văd coroane slabe chiar şi în jurul lui Venus, Jupiter şi al stelelor mai strălucitoare.

178. Explicația coroanelor[1]

Coroanele pe care le vedem în nori se formează în urma difracției luminii pe picăturile de apă din nori. Cu cît picăturile sînt mai mici, cu atît este mai mare coroana. Dacă toate picăturile sînt de aceeaşi mărime, coroanele sînt bine dezvoltate şi culorile lor sînt pure; dacă însă în nori sînt amestecate picături de dimensiuni diferite, apar simultan coroane de diferite mărimi, care se suprapun. De aceea, coroane bine dezvoltate apar numai în anumite tipuri de nori, în care condițiile de condensare a vaporilor de apă sînt peste tot suficient de constante; din acelaşi motiv, diferențele fine în succesiunea culorilor depind de numărul picăturilor de mărimi diferite, de grosimea norilor etc.

Punctele principale ale teoriei sînt următoarele:

a) Difracția pe un nor relativ dens, compus din picături de apă de mărimi identice, are loc în acelaşi mod ca pe o singură picătură, cu deosebirea că intensitatea luminii difrac-tate este mai mare.
b) Difracția pe o picătură are loc în acelaşi mod ca pe un mic orificiu într-un ecran (principiul lui Babinet).
c) Difracția pe un orificiu se calculează conform principiului lui Huygens: se consideră că fiecare punct al orificiului emite unde luminoase şi se determină interferența undelor care sosesc în ochi de la toate punctele orificiului.

Este uşor de observat asemănarea dintre coroană şi imaginea unui orificiu circular obținută în urma difracției. Atîrnati în fața unei ferestre iluminate de Soare o bucată de carton cu o tăietură în mijloc, acoperită cu o hîrtie argintată. În hîrtia argintată faceți cu un ac un orificiu şi priviți acest punct luminos în direcția Soarelui de la o distanță de aproximativ o jumătate de metru, ținînd în fața ochitor o a doua bucată de hîrtie argintată, găurită, de asemenea, cu un ac. Aceste orificii trebuie făcute cu un ac foarte fin, rotindu-l între degete; orificiile nu trebuie să aibă mai mult de 0,5 mm în diametru. Cînd priviți prin ele, orificiile se lărgesc, căpătînd forma unui disc care reprezintă o coroană în miniatură, iar în jurul discului veți vedea un sistem de inele corespunzătoare ordinelor succesive ale coroanei. Cu cît este mai mic orificiul prin care priviți, cu atît va fi mai mare imaginea obținută în urma difracției.

Maximele şi minimele succesive sînt comparabile în toate privințele cu franjele de difracție date de o fantă îngustă; diferă puțin numai în ceea ce priveşte distanțele. Distanțele marginii exterioare roşii a coroanei şi ale marginii roşii a franjei de ordinul întîi vor fi

$$\delta = 0{,}000\ 70 / a = 0{,}001\ 27/a$$

(a este diametrul orificiului în mm, S este distanța unghiulară măsurată de la centru).

Astfel, cu ajutorul coroanei putem determina dimensiunea picăturilor în nori. Dacă raza δ a aureolei este egală cu de patru ori diametrul Lunii, adică — radiani, norul constă din picături cu diametrul 108/4 * 0,000 70 = 0,076 /4 = 0,019 mm. Acest calcul nu este foarte exact, deoarece Luna, ca şi Soarele, nu este punctiformă; Luna are o rază de 16'. Din această cauză, raza aparentă a coroanei devine foarte mare; de aceea, din unghiul S, obținut în urma observațiilor, deseori se scad 16' înainte de a folosi formula de mai sus, deşi acest procedeu este foarte îndoielnic. Se obține în urma calculelor efectuate că dimensiunea picăturilor în nori este cuprinsă între 0,01 şi 0,02 mm.

Este posibil ca coroanele să poată apărea şi pe un nou compus din ace de gheață de grosime egală, pe care difracția luminii se produce în acelasi mod ca pe o fantă, într-adevăr, coroane bine dezvoltate, cu culori strălucitoare, se observă uneori pe nori cirrus subțiri, care sînt formați din ace de gheață.

Grosimea acelor de gheață poate fi calculată tot atît de simplu ca şi dimensiunile unei picături de apă. În cazul coroanei de mai sus, în care marginea brună are raza egală cu de patru ori diametrul Lunii, grosimea acelor de gheață trebuie să fie de 0,062/4 = 0,015 mm.

[1] R. Meyer, „Meteor. Zs.", 27,112,1910; G. C. Simpson, „Quart. Journ.", 38, 291, 1912; Gh. F. Brook s, „Month. Weather Rev.", **53,** 49, 1925 (bibliografie); Kohler, „Meteor. Zs.", 40, 257, 1923.



Fig. 147. Coroană asimetrică la marginea unui nor mic.

Observînd o coroană, este foarte greu de spus dacă ea apare pe picături de apă sau pe ace de gheață. În cazul acelor de gheață, distanțele între minimele întunecate succesive sînt riguros egale cu distanța primului minim de la centru, în timp ce în cazul picăturilor de apă, raza aureolei este cu 20% mai mare decît lățimea inelelor din ordinele următoare, însă observarea acestor diferențe este foarte dificilă. Măsurătorile cele mai bune indică în anumite momente un mod de formare, iar în alte momente celălalt mod de formare, în ambele cazuri în concordanță cu rezultatul la care ne aşteptăm, judecînd după forma norilor.

La o observare directă din avion, s-a constatat că în 45% din cazuri coroanele apar pe picături de apă, iar în 55% din cazuri pe cristale de gheață.

Pentru un fizician, o coroană frumoasă nu este numai un indiciu al omogenității picăturilor sau acelor de gheață în nor. Coroana arată, de asemenea, că norul s-a format, probabil, foarte recent, că este un nor „tînăr". Aceasta pentru că picăturile, după ce s-au format, nu rămîn uniforme: acelea care întîmplător au fost mai mici se evaporă mai repede, în timp ce cele mari cresc rapid pe seama celor mici.

Cînd în fața Lunii trec nori cirrocumulus sau altocumulus se poate vedea uneori cum coroanele devin nesimetrice, alungindu-se înspre marginea norului de fiecare dată cînd un nou nor trece în fața Lunii (fig. 147). Este evident că în părțile exterioare ale acestor nori picăturile sînt mai mici decît în cele interioare; probabil că în porțiunile exterioare ale norului picăturile au început deja să se evapore.

Pînă acum am descris cazurile cînd coroanele apar în nori; există însă momente cînd ele se observă şi pe un cer perfect senin. Coroane mici şi foarte frumoase de acest gen am observat de multe ori în jurul Soarelui la observatorul din Yerkes (lîngă Chicago), pe fondul cerului albastru. Ele se pot observa şi în jurul Lunii, însă în asemenea cazuri fiți prudenți, nu le confundați cu fenomene care se produc în ochi (§ 180). Se pare[1] că în regiunile liniştite firicelele de praf care se află în atmosferă se precipită din ce în ce mai mult, iar acelea care continuă să plutească în aer nu mai prezintă neuniformități prea mari şi pot constitui cauza apariției coroanei.

179. Coroanele pe geamul ferestrelor

Trecînd într-o noapte de iarnă pe lîngă geamul unei cafenele bine iluminate, vedem deseori că lustrele sînt înconjurate de inele colorate, a căror apariție este determinată de umezeala de pe geamuri. În unele porțiuni ale geamurilor, inelele sînt mai mari decît în altele. Deseori vedem numai o aureolă; uneori însă inelele colorate sînt deosebit de frumoase. Se pare că anumite sticle cauzează întotdeauna apariția unor coroane mai frumoase decît altele. Aceasta se explică prin aceea că coroanele apar în urma difracției luminii pe picăturile minuscule de apă de pe geam şi cu cît picăturile sînt mai uniforme, cu atît mai frumoasă este coroana. Este posibil ca picăturile să se condenseze mai uniform pe un tip de sticlă decît pe altul.

Aceste coroane prezintă o mare asemănare cu cele care apar în nori; oricum, modul lor de formare este acelaşi, într-un caz, picăturile în care se produce difracția se află pe geam; în celălalt caz, ele plutesc ca particule de vapori sus, în aer. Şi totuşi există o deosebire între coroana pe sticlă şi coroana în nori; în primul caz, sursa de lumină este înconjurată de un cîmp întunecat, nu de o aureolă luminoasă.

Se pare că aceasta se produce datorită distribuției uniforme a picăturilor, care se formează la distanțe egale una de cealaltă, în timp ce în nori picăturile sînt distribuite neregulat.

Formarea coroanei pe un geam aburit este un fenomen mai complex. Unul sau două inele luminoase interne apar în acest caz în special datorită interferenței reciproce a luminii reflectate de diferite picături care se află la o distanță mai mult sau mai puțin egală una de cealaltă. Inelele

---

[1] Penndorf şi Stranz, „Zs. f. angew. Meteor.", 60, 233, 1943."

luminoase exterioare însă apar de la fiecare picătură separată şi distribuția lor este determinată de mărimea mai mult sau mai puțin egală a acestor picături.

Dacă privim geamul sub unghiuri din ce în ce mai mari, vom vedea că forma coroanei devine la început eliptică, apoi parabolică, iar la urmă chiar hiperbolică. Dacă condițiile ar fi aceleaşi ca în cazul curcubeului orizontal (§ 145), ar trebui să spunem: „coroanele, aşa cum se conturează pe geam, au o formă eliptică etc.; ochiul nostru însă le vede pe o suprafață conică, a cărei axă este dreapta care uneşte ochiul cu lampa şi ele se proiectează sub formă de cercuri". În cazul considerat însă, condițiile sînt cu totul altele. În proiecția perpendiculară la privire, coroanele devin într-adevăr eliptice: ele capătă o întindere mai mare în direcția orizontală, desigur din cauza că fiecare picătură este comprimată în această direcție, adică este eliptică. Aceasta înseamnă totodată că particula pe care are loc difracția nu este sferică, ci are forma unei semisfere sau a unui segment de sferă. În direcția în care proiecția picăturii este minimă, coroana va avea întinderea cea mai mare.

Pe un geam aburit se poate vedea, de asemenea, coroana în jurul imaginii Soarelui; strict vorbind, acest fenomen nu poate fi văzut pe cer, însă el diferă numai foarte puțin de o coroană adevărată.

Presărați pe o bucată mică de sticlă un strat subțire de praf de brădişor folosit de farmacişti pentru acoperirea pilulelor. Priviți prin această sticlă o lampă electrică la o distanță de cel puțin zece metri. Veți vedea lampa înconjurată de o coroană minunată. Numai cu acest praf poate fi observată coroana. Aceasta se explică prin faptul că sporii de brădişor, fiind toți aproximativ de aceeaşi mărime, se comportă în acelaşi fel, în timp ce particulele altor substanțe, care sînt neregulate ca formă şi diferite ca dimensiuni, dau un „amestec" de coroane mari şi mici. Dacă țineți sticla înclinat, coroana nu se schimbă în proiecție; prin aceasta ea se deosebeşte de coroana care apare pe un geam aburit. Din cauza distanțelor neegale între sporii de brădişor, cîmpul din jurul sursei este luminos, nu întunecat (cum ne-am fi aşteptat).

Dacă suflați pe un geam de la o distanță de 30—60 cm şi studiați apoi coroana care se formează, veți vedea că ea nu creşte ca mărime o dată cu evaporarea aburului; aceasta arată ca picăturile devin treptat mai puțin bombate, însă nu-şi modifică perimetrul.

Deseori prin astfel de sticle se pot vedea coroane cu o succesiune cu totul neobişnuită a culorilor. De la sursa de lumină culorile se distribuie în ordinea următoare: verde întunecat—verde palid—roşu—galben—verde; roşu întunecat—brun —alb. O astfel de distribuție apare atunci cînd picăturile pe sticlă sînt relativ mari. Ele nu mai acționează ca particule netransparente, iar razele transmise iau şi ele parte la fenomenul de interferență. Astfel de coroane anomale nu se observă, bineînțeles, în lumină reflectată. La temperaturi scăzute, coroanele se văd uneori pe geamurile înghețate. Aureola (măsurată de la marginea brună) are o rază de circa 8°.

Se poate ca aceasta sa nu fie o coroană, ci un halo! Inelul are marginea exterioară albastră, iar cea interioară roşie. Se pare că cristalele degheață acționează ca nişte prisme. Urmăriți coroana care apare în unele zile de iarnă în norul creat de respirația noastră; marginea brună are o rază de 7-9°.

Coroane uimitor de frumoase pot fi observate deasupra unei ceşti de ceai. Ceaşca trebuie umplută cu grijă, pînă la margine, cu ceai fierbinte (sau apă), avînd temperatura între 40—75°C. Experiența trebuie efectuată atunci cînd Soarele se află aproape de orizont, deoarece fenomenul se vede prin norul de vapori ce se ridică deasupra lichidului auriu, numai dacă razele Soarelui cad pe ceaşcă sub un unghi mic. Aflîndu-ne la o anumită distanță de pahar, putem observa cum fiecare rotocol de vapori capătă culori încîntătoare. Deosebit de frumoase sînt culorile purpuriu şi verde. Putem apropia puțin ochii de nor, pentru a evita amestecul culorilor.

Măsurați coroanele care se formează cu ajutorul prafului de brădişor, calculați mărimile granulelor şi verificați rezultatele cu ajutorul microscopului.

180. Coroanele luminoase care apar în ochi[1]

Noaptea văd un cerc luminos slab în jurul lămpilor electrice cu arc sau al unei alte surse de lumină strălucitoare, conturîndu-se clar pe un fond întunecat sau negru; astfel de cercuri se văd şi în jurul Lunii, dacă cerul este senin, şi în jurul Soarelui, cînd lumina sa străbate prin frunzişul dens al unui copac. Diametrul acestui cerc luminos este de aproximativ 6°. El este albastru înspre centru şi roşu spre periferie; prin urmare, fenomenul trebuie atribuit difracției, nu refracției. El seamănă foarte mult cu coroana pe nori, însă aici există şi o deosebire esențială. Dacă Luna s-a ascuns tocmai după colțul unei case, „coroana de nori" rămîne vizibilă, în timp ce „coroana de ochi" dispare îndată ce sursa de lumină este acoperită. Este evident că ea apare chiar în ochi, adică avem de-a face cu un fenomen entoptic.

Poate oare să apară o astfel de coroană pe granulele mici din ochi, de mărime aproximativ

[1] A. Gullstrand, citat după Helmholtz, Physiologische Optik, ediția a 3-a, I, 192.

egală, pe care lumina se difractă ca pe praful de brădişor sau ca pe picăturile de apă din nori? în ce priveşte anumiţi oameni, lucrurile stau într-adevăr aşa.

Mulţi observatori însă văd mici coroane, dintre care prima — un inel ceţos strălucitor — are un diametru de 1,5°. Ele apar în urma difracţiei pe nucleele celulelor corneei şi pe păturile cristalinului. În acest caz avem de-a face nu cu difracţia pe o singură particulă, ci cu interacţiunea unui număr mare de particule care se află aproximativ la o distanţă egală una de cealaltă (de ordinul 0,03 mm). Alţii, dimpotrivă, văd inele ceva mai largi, care cresc dacă ochiul este supus acţiunii vaporilor acidului osmic (fiţi foarte precauţi!): în acest caz, celulele corneei se umflă puţin, iar difracţia se intensifică. Un observator indică următoarele dimensiuni ale unei astfel de coroane: marginea roşie a aureolei avea o rază de 1°23', inelul albastru-verde o rază de 3°46', inelul roşu - 4°22'.

Un al treilea tip de coroană entoptică este cel pe care-l văd şi eu şi care este, pare-se, cel mai frecvent. Faptul că uneori timp de cîteva săptămîni eu văd anumite sectoare ale coroanei cu o claritate neobişnuită, arată că explicaţia trebuie să fie aici alta decît în cazul „coroanei de nori". Este greu de înţeles cum ar putea apărea o astfel de coroana prin difracţie pe particule mici. Luaţi o bucată de hîrtie cu un orificiu de 2 mm diametru şi ţineţi-o în faţa pupilei ochiului vostru, la început chiar în dreptul centrului, iar apoi deplasînd orificiul din ce în ce mai mult spre marginea pupilei. În momentul cînd orificiu] se află în dreptul părţii inferioare a pupilei, se vor vedea numai două porţiuni ale coroanei, şi anume la stînga şi la dreapta de sursa de lumină. Dacă orificiul se află în faţa părţii drepte sau stingi a pupilei, se văd numai părţile coroanei dedesubtul şi deasupra sursei.

De aici rezultă ca coroana considerată apare în urma difracţiei pe fibre dispuse radial, probabil în cristalin, deoarece aceasta explică toate detaliile experienţei. Folosirea orifi-ciului mic este o metodă bună pentru deosebirea acestui al treilea tip de coroană entoptică de celelalte două. Într-adevăr, dacă difracţia ar avea loc pe granule şi nu pe fibre, ecranarea n-ar modifica formele şi dimensiunile sale ci numai ar slăbi-o.

Uneori, aproape că nu văd coroana decît dacă privesc lateral în sus sau dacă sînt foarte obosit. Alteori însă o văd foarte clar.

Astfel de observaţii ne ajută să lămurim în ce parte a ochiului se formează coroana. Noaptea ea apare în momentul cînd privesc o lampă de stradă, însă după cîteva secunde dispare. Am observat că acest fenomen este legat de îngustarea pupilei, care se produce cînd ochiul, adaptat la întuneric, ajunge brusc la lumină strălucitoare. De aceea, dacă ne trezim brusc noaptea şi în faţa noastră se află o luminare sau o lampă, vedem în jurul ei o coroană strălucitoare[1]. Este probabil ca coroana să apară în părţile exterioare ale cristalinului şi, de aceea, dispare imediat la micşorarea pupilei.

În aceste fenomene de difracţie, care au loc pe granulele sau pe fibrele ochiului, legătura dintre unghiurile de difracţie şi mărimea particulelor este mai complicată decît de obicei.

181. Soarele verde şi albastru

Un observator ne-a povestit că o dată, privind Soarele printr-o coloană de aburi care se ridica din coşul unei locomotive, Soarele devenise în timpul a trei rafale de aburi de un verde strălucitor. Celelalte rafale de aburi nu aveau nici un efect. O dată am observat şi eu un astfel de fenomen, în timpul plecării unui tren. Locomotiva (un model foarte vechi) scotea nori de vapori ce întunecau pentru o clipă Soarele, care era aproape de orizont, şi apoi se împrăştiau în aer. În momentele cînd Soarele putea fi văzut din nou, culoarea sa era uneori verde-deschisă, alteori albastră-palidă sau prezenta o trecere de la o culoare la cealaltă. După o fracţiune de secundă, lumina deveni atît de intensă, iar norul atît de subţire, încît nu se mai vedea nimic.

Fenomenele acestea apar atunci cînd picăturile de apă din care sînt formaţi aburii sînt foarte mici (de la 1 la 5 μ). Acţiunea lor asupra luminii nu mai poate fi descrisă aici prin înlocuirea picăturilor de apă cu mici orificii sau cu discuri opace pe care se produce difracţie. Putem să ne formăm o idee aproximativă despre acest fenomen studiind efectul simultan al luminii difractate, reflectate pe suprafaţă şi transmise direct[2].

O ceaţă compusă din mici picături poate fi obţinută şi în condiţii de laborator. Dacă stratul difuzant are o grosime suficient de mare, vom putea vedea, pe lîngă apariţia coroanei, şi colorarea sursei însăşi.

Culorile (verde, albastru-pal şi albastru-azuriu) Soarelui şi Lunii au fost observate nu o dată

---

[1] Vezi observaţia asemănătoare a lui Descartes, amintită în lucrarea lui Goethe Farbenlehre.

[2] C. Barus, „Amer. Journ. Se.", 25, 224, 1908; R. Mecke, „Ann.d. Phys.", 61, 471, 1920; 62, 623, 1920; lucrarea lui Blumer („Zs. f. Phys.", **32,** 119, 1925; 38, 304, 1926) a arătat totuşi cu cîtă prudenţă trebuie să privim o astfel de aproximaţie. Van de Hulst, „Recherches Obs. Utrecht", 11, 1946; Light Scattering by Small Particles, 1957.

ore întregi şi fără să existe vapori de apă, de exemplu, în timpul furtunilor de nisip.

Cel mai bine ele au putut fi văzute în anii care au urmat erupției faimoase a vulcanului Krakatau (1883). Se ştie că în straturile superioare ale atmosferei sînt aruncate, din cînd în cînd, cantități uriaşe de praf vulcanic foarte fin. E nevoie de ani pentru ca praful să se depună şi, în timpul acesta, răspîndindu-se pe întregul glob, el produce peste tot minunate apusuri şi răsărituri de Soare. Se poate presupune că norii de praf sînt compuşi la un moment dat din granule foarte fine de mărime identică; aceasta ar putea explica culorile uimitoare ale Soarelui.

Soarele albastru din zilele de 26—28 septembrie 1951 a fost observat în întreaga Europă occidentală şi centrală. Lumina solară era palidă, de culoare indigo, iar aproape de orizont, Soarele devenea albicios, nu galben. Luna şi chiar stelele prezentau un colorit albăstrui. În scurt timp s-a descoperit şi cauza: un nor gigantic, format din mici picături de ulei cu diametrul de numai 0,5^, ajunsese în Europa împreună cu particule de funingine din statul Albert din Canada, unde avusese loc un mare incendiu în păduri. Norul a făcut patru zile pînă în Europă; observațiile din avion au arătat că el se întindea pînă la o înălțime de 13 000 m.

În acelaşi grup de fenomene putem încădra şi următoarea coroană anomală observată o dată[1]: o aureolă strălucitoare galbenă-verde era înconjurată de un inel roşu larg care, la rîndul său, era înconjurat de unul albastru; în acelaşi timp se puteau vedea şi inele verzi. Explicația poate fi găsită în mărimea foarte mică a picăturilor de ceață.

Raritatea acestor fenomene este reflectată în expresia populară engleză: „o dată, pe timp de Lună albastră...".

182. Gloria (fotografia XVI)[2]

Stînd pe vîrful unei coline cînd Soarele se află aproape de orizont, putem vedea uneori umbra noastră conturîndu-se pe un strat de ceață. În jurul capului umbrei se formează o glorie, o luminescentă cu culori tot atît de strălucitoare ca şi la coroanele din jurul Soarelui şi Lunii. O dată s-a observat o glorie care număra cinci ordine (vezi § 177). Menționăm totuşi că deşi fiecare vede atît umbra sa proprie, cît şi umbrele însoțitorilor săi, dacă aceştia sînt destul de apropiați şi pîcla este destul de departe, gloria poate fi văzută numai în jurul capului propriu.

Gloria poate fi observată şi în lumina unei lămpi de stradă, dacă fondul este suficient de întunecat.

Zburînd în direcția Soarelui deasupra unui strat neted de nori, pilotul vede deseori umbra avionului pe nori, înconjurată de cercuri colorate. Uneori se poate vedea cum cercurile se contractă dintr-o dată şi apoi se dilată din nou. Aceasta depinde de mărimea picăturilor din nori.

După locul în care avionul îşi aruncă umbra poți determina din prima privire dacă te afli în capul avionului sau în coada sa, deoarece centrul aureolei indică observatorului totdeauna punctul antisolar (fig. 148). Deseori se poate vedea şi un arc difuz de dimensiuni mult mai mari. El este în toate cazurile alb şi numai marginile sale sînt puțin colorate; acesta este curcubeul alb (§ 144).

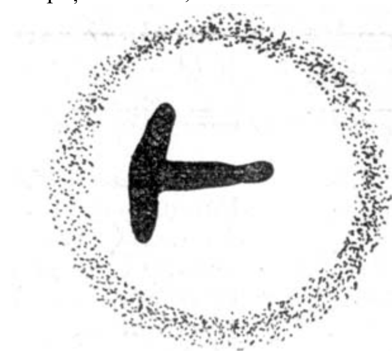


Fig. 148. Gloria observată în jurul unui avion.

O explicație satisfăcătoare a fenomenului de glorie a lipsit multă vreme. Asemănarea cu

[1] H. Kohler, „Meteor. Zs.", 46, 164, 1929.

[2] W. Schmidt, „Meteor. Zs.", 33, 199, 1916; W. Milch, „Meteor. Zs.", 48, 295, 1926; Diem, „Ann. Hydr.", 70, 142, 1942; Ahrenberg, „J. Optic. Soc. Amer.", 38, 481, 1948.

coroana a dus pe mulți la concluzia că norul de picături de apă difuzează într-un fel oarecare lumina Soarelui în -aceeaşi direcție din care provine şi că razele care se întorc se difractă apoi pe alte picături, asemănător cu difracția razelor directe în cazul coroanei. Acum însă s-a dovedit că gloria apare nemijlocit în urma difuziei luminii înapoi[1].

Raza gloriei se schimbă deseori; e clar că, în anumite locuri, ceața constă din picături mai mari decît în altele. În ceața care tocmai se ridică, gloria este foarte mare; mărimea calculată a picăturilor de ceață nu depăşeşte 6μ. De cele mai multe ori, mărimea lor este de 15—25μ într-un singur caz excepțional s-a observat o glorie din avion pe fondul unei furtuni de nisip în deşert[2].

Gloria este deseori înconjurată de un curcubeu alb; curcubeul apare de fiecare dată cînd distanța de la ochiul nostru pînă la ceață depăşeşte 50 m. Este interesant că curcubeul pare mult mai îndepărtat de noi decît gloria; acesta este un efect pur psihologic. Simultaneitatea celor două fenomene ne dovedeşte că gloria se datoreşte apariției picăturilor de apă şi nu unor cristale de gheață. Este interesant de menționat că în straturile de nori în care se formează acest fenomen, temperatura este cu cîteva grade sub punctul de înghețare al apei. Prin urmare, picăturile în nor trebuie să fie suprarăcite.

Teoria fenomenului de glorie, deşi nu este pe deplin satisfăcătoare, arată că el trebuie să se deosebească prin ceva de fenomenul de coroană. Acest lucru este confirmat de observații: 1) primul inel întunecat al gloriei este difuz şi diametrul său este mai mic; 2) inelele exterioare sînt mult mai strălucitoare; 3) polarizarea este puternică (ea poate fi observată aproape la orice zbor cu ajutorul unui polaroid); oscilațiile radiale sînt mult mai intense.

Porni pădurarul iarna devale, spre-apus.
Potecile de munte mijeau departe, sus,
În ceața străvezie ca un păienjeniş,
Deodată, o stafie zbucni dintr-un tufiş.
O mîndră-aureolă pe frunte ea purta
Neştiind că vedenia e plăsmuirea sa,
Că-i propria lui umbră, — pe urma ei zbughi.
S. T. Coleridge

183. Norii irizanți[3] (fotografia XVII)

Cine nu este obişnuit să observe cerul va fi uimit aflînd că norii pot avea culori strălucitoare: verde, roşu-purpuriu, albastru etc. Aceste culori nu au nici o legătură cu fenomenele de crepuscul: ele se observă şi atunci cînd Soarele este aproape de orizont şi atunci cînd este în înaltul cerului. Culorile sînt împrăştiate dezordonat printre nori, luînd forma unor margini colorate, pete şi benzi. Cîțiva observatori subliniază că ele au un luciu „metalic"; ce ar putea să însemne acest lucru?

La vederea acestor nori, noi încercăm o adîncă emoție, greu de descris, însă uşor de explicat prin măreția fenomenului, puritatea nuanțelor, strălucirea şi jocul delicat al culorilor. Nu poți să-ți iei privirea de la această privelişte încîntătoare.

Astfel de nori irizanți apar în tot timpul anului, însă deosebit de frecvent toamna. Ei se ivesc în jurul Soarelui şi la distanțe mai mici decît 2 grade de Soare ei par orbitor de albi. Printr-o sticlă întunecată — acesta este mijlocul cel mai bun de observare — ei pot fi văzuți la o distanță de 3—10°, iar cu ochiul liber, de la 10 la 30°. De cele mai multe ori ei sînt purpurii, roşii sau galbeni şi devin mai palizi cu creşterea distanței de la Soare. Cîțiva observatori au văzut nori irizanți la distanțe mari de Soare (pînă la 50°) şi chiar în jurul punctului antisolar.

Intensitatea luminii este deseori atît de mare, încît este insuportabilă pentru mulți observatori. Observațiile trebuie făcute întotdeauna în umbra unei case sau a unui pom, sau cu mijloacele de protecție menționate în § 174.

După ce am privit cu atenție norii irizanți timp îndelungat, fără a folosi nici unul din aceste mijloace, am observat uneori că în fața ochilor mei dansau culorile purpuriu şi verde ca o imagine consecutivă care apare după impresii luminoase foarte puternice (§ 103). Deoarece ele sînt totodată şi culorile predominante ale norilor irizanți, mi-am pus problema dacă întreg fenomenul nu este decît o consecință a oboselii ochilor. Totuşi lucrurile nu stau aşa: doi observatori diferiți văd aceeaşi culoare, culorile rămîn vizibile şi atunci cînd lumina este slăbită printr-unul din mijloacele menționate; în sfîrşit, irizația este deseori vizibilă şi pe nori de luminozitate redusă.

---

[1] Naik, Noshi, „J. Optic. Soc. Amer.", 45, 733,1954. Teoria fundamentală a fost formulată de Van de Hulst: „J. Optic. Soc. Amer.", 37, 16, 1947; Light Scattering of Small Particles, 1957.

[2] „La Meteorologie", nr. 34, 171, 1954.

[3] H. van der Linden, „Hemel en Dampkring", l, 3, 248,1903; A. Bracke, Nuages irises, Mons, 1907; Gh. F. Brooks, „Month. Weather Rev.", **63,** 49, 1925; „Zs. f. angew. Meteor.", **60,** 185, 1943; H. Kohler, „Meteor. Zs.", 46, 161, 1929, dă o teorie discutabilă.

Culorile norilor pot fi deosebite practic întotdeauna dacă cerul nu este complet acoperit de nori. Nuanțele de culori dispar numai atunci cînd Soarele este jos sau cînd cerul este absolut alb şi nu albastru.

Norii cumulus, nimbocumulus şi stratocumulus prezintă o irizație numai la margine, însă lumina este aici atît de orbitoare încît, dacă nu folosim reflexia într-o sticlă neagră sau un alt mijloc oarecare, este foarte greu s-o observăm; un nor cumulus care se topeşte trecînd în fața Soarelui este o priveliște încîntătoare! Rămîne însă problema dacă culorile acestui grup pot fi considerate într-adevăr ca o irizație adevărată?

Irizația cea mai frumoasă o prezintă norii albi strălucitori cirrocumulus şi altocumulus, în special cei cu o formă lenticulară, care apar puțin timp înainte sau după furtună. Culorile sînt distribuite în fîşii şi „ochiuri". Irizația se vede şi atunci cînd norul îşi schimbă repede forma cu puțin înainte sau imediat după furtună.

Indicații prețioase asupra originii culorilor obținem dacă urmărim ordinea distribuției lor. La prima vedere, distribuția culorilor pare dezordonată, însă după puțin timp începem să observăm o anumită regularitate. Distribuția culorilor în nori la o anumită distanță de Soare este determinată, după toate aparențele, de structura norului: anumite dungi îşi păstrează culoarea în întregul nor, sau în jurul întregului nor se vede o margine purpurie-roşie etc. Dacă norul este aproape de Soare, factorul cel mai important este distanța. S-a observat, de exemplu, că norii încep să prezinte culorile curcubeului de fiecare dată cînd ei ajung într-o anumită parte a cerului sau că culorile se distribuie în inele mai mult sau mai puțin regulate în jurul Soarelui.

Înainte se considera că norii irizanți nu sînt altceva decît părți ale unor coroane.

O explicație cu totul diferită a fost propusă recent. Luciul metalic specific ar putea să se datoreze prezenței unui număr mare de plăcuțe subțiri de gheață[1], într-un roi de astfel de plăcuțe, transportate de curenții turbulenți de aer, numai plăcuțele care se află într-o anumită poziție vor reflecta lumina solară în direcția ochiului nostru. Dacă o parte a luminii este reflectată de fața anterioară a plăcuțelor, iar o parte de fața posterioară, apare interferența: anumite culori dispar, altele se intensifică (vezi § 177). Culorile observate nu sînt saturate. Aceasta arată că plăcuțele de gheată trebuie să aibă o grosime de 4—5 ori mai mare decît lungimea de undă a luminii, adică de circa 2μ. Distribuția luminii în nori este determinată de modificările grosimii medii a plăcuțelor. Numai acei nori prezintă irizație, în care plăcuțele de gheață au o grosime aproape uniformă.

Deosebit de interesanți sînt norii irizanți la distanțe mai mari de 30° de Soare. Ceea ce se ia drept irizație poate fi deseori o parte dintr-un halo. Există însă observații care nu lasă loc de îndoială, o ştiu din experiența mea personală.

Lumina norilor irizanți este nepolarizată.

Norii irizanți se observă şi în jurul Lunii, deşi mai rar decît în jurul Soarelui. Culorile lor sînt mai şterse, desigur din cauza iluminării foarte slabe. Se cunoaşte un caz cînd irizația a fost observată în norii artificiali ai unui avion care seria pe cer o reclamă.

184. Norii sidefii[2]

Există o formă foarte rară şi interesantă de nori irizanți care reprezintă un fenomen de dimensiuni mult mai mari decît formele obişnuite. Şiruri întregi de nori irizează în culorile curcubeului ca solzii de peşte, prezentînd uneori tonuri de o puritate uimitoare. Aceste nuanțe sînt deosebit de clare cu puțin înainte de apusul Soarelui, la o distanță de 10—20° de el. Proprietatea specifică a acestor nori constă în aceea că ei rămîn vizibili timp de două ore după apusul Soarelui, fapt care indică înălțimea lor mare[3]. Recent, prin metode mai precise, înălțimea lor a fost determinată ca fiind de 25 /cm, în timp ce norii obişnuiți nu se ridică niciodată mai sus de 12 km. Din cauza înălțimii mari a acestor nori, se pare că ei se mişcă foarte încet; în realitate, ei se mişcă cu o viteză de 10—90 m/s. Norii sidefii se întunecă foarte brusc, în aproximativ patru minute. Acesta este intervalul de timp necesar pentru ca discul Soarelui să se ascundă sub orizont. De aceea, pare foarte probabil că aceşti nori sînt iluminați nu de lumina amurgului, ci direct de lumina Soarelui.

Distribuția culorilor în norii sidefii depinde aproape cu totul de regiunea considerată a norului. Uneori aceşti nori sînt presărați cu benzi, sînt ondulați şi amintesc de norii cirrus; alteori întregul şir de nori are aproape o singură culoare, fiind împodobit de culorile spectrului de-a lungul marginilor sau în fîşii orizontale lungi, între care se poate vedea fondul neobişnuit de opal al cerului. Culorile rămîn

---

[1] H. Dessens, „Arin. Geophys.", 5, 264, 1949.

[2] C. Stormer, „Geophys. Publ.", 9, nr. 4, 1931; „Beitr.z. Geophys.", 32, 63, 1931; „Nature", **145,** 221, 1940; „Weather", 3, 13, 1948; H. Wehner, „Meteor. Rundsch.", 4, 180, 1951.

[3] Înălțimea lor se determină măsurînd timpul cît aceştia se văd după apusul Soarelui.

uneori constante, alteori se schimbă treptat. Ele dispar atunci cînd distanţa norului de la Soare depăşeşte 40°. Frumuseţea întregii imagini e feerică, de nedescris.

Dacă privim norii printr-un nicol, culorile se schimbă la rotaţia nicolului. O dată, s-a observat pe aceşti nori de culoarea sidefului un halo; aceasta arată că ei sînt formaţi, probabil, din cristale de gheaţă (vezi § 156). În multe cazuri, norii irizanţi s-au observat la înălţimi de 4 000—H 000 m, unde temperatura este sub —50°C; este foarte probabil că în acest caz fenomenul apare pe plăcuţe de gheaţă şi nu pe picături de apă. Ei se formează imediat după trecerea unui ciclon, cînd cerul este deosebit de senin. La Oslo, astfel de nori se observă de obicei iarna, cînd în nord sau în răsărit există o depresiune adîncă, în timp ce deasupra Oceanului Atlantic bîntuie furtuna şi suflă un vînt uscat şi cald (foehnul). În astfel de momente cerul este perfect senin şi se observă bine straturile de nori cele mai înalte.

Norii sidefii deosebit de frumoşi au fost observaţi la 19 mai 1910, în ziua cînd Pămîntul a trecut prin coada cometei Halley. S-ar părea că între aceste două fenomene există o legătură. Ar trebui, de asemenea, să ne gîndim la pătrunderea prafului cosmic în atmosfera terestră[1].

Nimburile

185. Nimburile pe iarba cu rouă[2] (fotografia XVIII)

Dis-de-dimineaţă, cînd Soarele este încă aproape de orizont şi aruncă umbre lungi pe iarba acoperită de rouă, observăm o aureolă luminoasă incoloră care înconjură de sus şi din părţi umbra capului nostru. Aceasta nu este o iluzie optică şi nici un fenomen de contrast; cînd aceeaşi umbră cade pe un drum acoperit cu pietriş, aureola dispare.

Fenomenul este deosebit de frumos atunci cînd lungimea umbrei este de cel puţin 15 m şi cînd ea cade pe iarbă tunsă sau pe trifoi, colorate în alb-cenuşiu din cauza belşugului de rouă. În astfel de împrejurări, nimburile sînt deosebit de clare. Ele sînt mai puţin pronunţate ziua după o ploaie torenţială sau noaptea în lumina lămpilor electrice. În caz că există o îndoială asupra faptului că acestea sînt într-adevăr nimburi, cel mai bun mijloc de verificare este următorul:

1. Priviţi întreaga pajişte şi observaţi cum creşte strălucirea în apropierea umbrei voastre.
2. Faceţi cîţiva paşi: veţi vedea că lumina se mişcă împreună cu voi, iar locurile în care iarba nu a fost prea strălucitoare se luminează cînd umbra voastră se apropie.
3. Comparaţi umbra voastră cu umbra altor oameni. Veţi vedea un nimb numai în jurul capului propriu. Se povesteşte că Benvenuto Cellini, marele sculptor italian din secolul al XVI-lea, cînd a observat această aureolă, a ajuns la concluzia că ea este un semn al propriului său geniu!

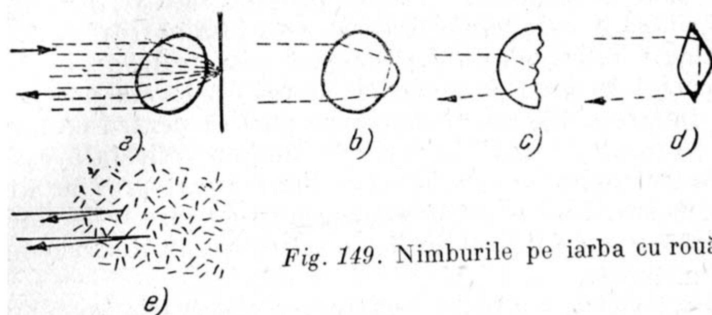


Fig. 149. Nimburile pe iarba cu rouă.

Care este explicaţia acestui fenomen interesant? Picăturile de rouă, joacă desigur, un rol important, deoarece cînd roua se evaporă, nimbul practic dispare; el apare din nou dacă stropim iarba cu apă. Picăturile de apă stropite pe un cearşaf alb sau pe o foaie albă de hîrtie încep să joace şi să scînteieze atunci cînd umbra capului vostru cade aproape de ele.

Umpleţi un balon de sticlă cu apă şi aşezaţi-l la lumina Soarelui; el va reprezenta la scară mare o picătură de rouă. Ţineţi în spatele balonului o foaie de hîrtie care reprezintă firul de iarbă pe care se formează roua. Privind balonul sub un unghi mic faţă de direcţia de incidenţă a razelor, îl vom vedea iluminat strălucitor dacă hîrtia se află la o distanţă mică de el (aproape de focarul lentilei-balon).

Această experienţă ne duce la concluzia că fiecare picătură de rouă care se află pe un fir de iarbă formează pe acesta imaginea Soarelui şi că razele care provin de la imagine se propagă, practic,

[1] Slocum, „J. Roy. Astr. Soc. Canada", 28, 145, 1934, cu fotografii foarte frumoase.
[2] „Quart. Journ.", 39, 157, 1913; E. Maey, „Meteor. Zs.", 89, 229, 1929.

pe acelaşi drum ca şi cele incidente, adică în direcţia Soarelui (fig. 149, a). Astfel putem explica de ce picăturile par să fie ele însele surse de lumină, asemănător cu ochii pisicilor. Aceasta explică, de asemenea, foarte bine de ce avem atît de multă lumină în direcţia apropiată de punctul antisolar şi de ce intensitatea luminii scade rapid dacă ne îndepărtăm privirea de la această direcţie. Însă de ce nu este verde lumina emisă de iarbă?

Aici trebuie să acţioneze alte cauze. Dacă privim din nou balonul nostru de sticlă, vom vedea că suprafaţa sa anterioară reflectă tot atît de bine lumina ca şi cea posterioară. Un calcul simplu arată că strălucirea imaginii de pe suprafaţa posterioară reprezintă aproximativ jumătate din strălucirea luminii emise de foaie şi o optime din cea reflectată de suprafaţa anterioară.

O lumină mult mai intensă provine însă de la gîtul şi baza plană a balonului. Aceasta este lumina care a suferit o reflexie internă totală. Deoarece picăturile de rouă au, în special la plante acoperite cu puf, o formă neregulată (fig. 149, 6, c, d), este foarte verosimil că pentru ele acesta este factorul cel mai important: lumina reflectată este ia fel de strălucitoare şi albă ca şi lumina care provine direct de la Soare, însă acest al doilea grup de raze reflectate nu prezintă o anumită tendinţă de reflectare în direcţia luminii incidente.

Din fericire, s-a făcut următoarea observaţie ingenioasă: reemit lumină numai acele fire de iarbă pe care cade lumina directă a Soarelui, adică acelea care nu sînt umbrite de alte fire; în acelasi timp, în alte direcţii, ele sînt în majoritatea cazurilor umbrite de firele vecine (fig. 149, d). Acum se înţelege de ce observatorul vede totdeauna mai multă lumină dacă privirea sa coincide mai mult sau mai puţin cu direcţia de incidenţă a luminii. Acest principiu uimitor de simplu (enunţat de Seeliger şi Richarz) a fost aplicat în astronomie pentru explicarea distribuţiei luminii în inelele lui Saturn, care, după cum se ştie, sînt formate din mici bulgări.

Combinarea diferitelor efecte luminoase descrise pînă acum explică, pare-se, destul de clar, atît culoarea albă, cît şi „directivitatea" luminii nimburilor.

186. Nimburile pe suprafeţe fără rouă

Acest fenomen este mult mai greu de observat şi de aceea metodele descrise în § 185 se dovedesc a fi foarte utile. El poate fi văzut pe o mirişte, pe iarba tăiată scurt şi chiar pe un teren accidentat. Eu l-am văzut foarte clar, pe cînd Soarele era aproape de orizont, pe o pajişte bine îngrijită, pe care toate firele de iarbă erau verticale şi aveau aceeaşi lungime; şi mai clar l-am văzut pe o pajişte de iarbă albastră (*Molima coerulca*).

Dacă observatorul se află la cîteva sute de metri de pajişte, umbra sa este atît de ştearsă, încît, în majoritatea cazurilor, nici nu se observă (vezi § 2) şi singurul lucru care te izbeşte este nimbul de forma unei pete de lumină, cu un diametru de circa 2° (de aproximativ patru ori mai mare decît diametrul Lunii), puţin alungită în direcţia noastră.

Explicaţia este asemănătoare cu aceea dată de Winterfeld nimburilor formate pe iarba acoperită de rouă (vezi § 185). Majoritatea firelor de iarbă sînt iluminate de Soare prin intervalele dintre şirurile din faţa lor; privind aproximativ în direcţia razelor solare, vedem toate suprafeţele mici iluminate; dacă privim însă sub un unghi mare, vom vedea multe frunze umbrite şi strălucirea medie va fi astfel mai mică.

Nimburile strălucitoare pot fi văzute deseori pe o specie de spanac (*Chenopodium album*). Această plantă este acoperită cu un strat făinos de celule sferice, care sînt foarte dezvoltate la anumite varietăţi ale acestei specii şi care au acelaşi rol ca picăturile de rouă.

187. Nimbul în jurul umbrei unui balon[1]

Cine s-a urcat vreodată cu un balon a putut urmări umbra nacelei alunecînd pe Pămînt. Aproape întotdeauna ea este înconjurată de o aureolă luminoasă; faptul că această aureolă nu constituie o imagine subiectivă de contrast este dovedit de creşterea strălucirii sale pe cîmpiile şi pajiştile acoperite cu rouă.

Pe ogoarele cu grîu, aureola se transformă într-o coloană luminoasă verticală, paralelă cu tulpinile plantelor. Aceasta este o formă deosebit de frumoasă de nimb, deoarece din cauza distanţei mari dintre balon şi Pămînt, privim sub un unghi foarte mic faţă de razele Soarelui. Dacă umbra pluteşte pe un şir de nori, există posibilitateă să vedem minunatele inele colorate ale gloriei (§ 144, 182).

Dr. P. Whippie (observatorul Harward, S.ÎI.A.) îmi scrie că a observat de multe ori acest fenomen din avion, în locurile cele mai diferite, dar că cel mai frumos apare toamna deasupra

---

[1] C. Flammarion, L' Atmosphere, p. 232, 1888; „Meteor. Zs.", 30, 501, 1914.

pădurilor[1]. În locul umbrei se formează o pată strălucitoare cu diametrul de circa 2°, care se observă chiar şi în pustiu, dar deasupra unei ape ea se transformă într-o pată întunecoasă. Pe rouă pata se măreşte.

[1] Vezi, de asemenea, Butler, „J. Optic. Soc. Amer.", 45, 328, 1955.

XI. Lumina şi culoarea cerului

188. Difuzia luminii de către fum

Vom începe observaţiile noastre asupra difuziei luminii, plimbîndu-ne de-a lungul unui canal cu circulaţie mare, unde majoritatea vaselor care trec au motoare cu petrol sau benzină şi scot un fum care pe fondul întunecat al apei pare albastru. Dacă urmărim fumul cum se înalţă spre fondul luminos al cerului, vom observa că el nu mai pare albastru, ci galben. Deci culoarea albastră a fumului nu este o proprietate a sa proprie, internă, cum este, de exemplu, culoarea albastră a sticlei; culoarea fumului depinde de condiţiile de iluminare. Explicaţia este următoarea: pe fondul întunecat fumul este iluminat de razele Soarelui care vin din toate părţile, însă nu şi din spate. Aceste raze sînt difuzate de fum în toate direcţiile. O anumită parte din lumina difuzată cade în ochiul nostru şi face fumul vizibil. Particulele care formează fumul difuzează lumina albastră -mult mai puternic decît cea roşie sau galbenă; de aceea vedem fumul albastru. Pe de altă parte, cînd fondul este luminos, vedem fumul în lumina transmisă şi el pare galben, deoarece lumina albastră din lumina albă incidenţa este difuzată în toate direcţiile şi este slăbită atît de mult, încît aproape că nu ajunge la ochiul nostru. Numai culoarea galbenă şi roşie se păstrează în lumina transmisă, aşa încît ele determină culoarea fumului.

„În anii trecuţi, am văzut deseori ceva asemănător la Killarney (Irlanda), unde în zilele fără vînt, coloanele de fum se ridicau deasupra acoperişurilor caselor. Partea inferioară a fiecărei coloane se vedea pe fondul întunecat al pinilor, iar cea superioară pe fondul luminos al norilor. Partea inferioară era albastră, deoarece ea se vedea în lumina difuzată, cea superioară era roşiatică, deoarece se vedea în lumina transmisă" (J. Tyndall).

Acelaşi fenomen al culorii albastre în lumina difuzată şi al culorii galbene în lumina transmisă îl putem observa foarte clar la fumul locomotivelor Diesel, cînd trenul se urneşte din loc, şi al motoarelor Diesel de la camioane şi autobuze. Acest fenomen poate fi observat şi toamna, cînd se ard frunze uscate, buruieni şi gunoaie, şi în fumul care iese din coşurile caselor încălzite cu lemne.

În toate aceste cazuri, fumul este format din picături foarte mici de lichid asemănător cu gudronul, în timp ce la arderea cărbunelui se formează fulgi de funingine mult mai mari. Dar tocmai raportul dintre dimensiunile particulelor difuzante şi lungimea de undă a luminii X (0,0006 mm) determină culoarea fumului. Cînd particulele nu sînt mai mari de una sau două zecimi din lungimea de undă, difuzia este proporţională cu — , crescînd rapid spre marginea violetă a spectrului; difuzia pe particule atît de mici, oricare ar fi natura lor, dă naştere întotdeauna la o culoare albastră-violetă foarte frumoasă. Pe particule mari, creşterea difuziei înspre partea violetă a spectrului este mult mai puţin pronunţată; în acest caz, difuzia este proporţională aproximativ cu $1/\lambda^4$. Cînd particulele sînt foarte mari, dependenţa difuziei de lungimea de undă nu mai poate fi observată şi lumina difuzată rămîne albă. Prin „foarte mari" înţelegem aici „foarte mari în comparaţie cu lungimea de undă", de exemplu 0,01 mm!

Iată de ce fumul de ţigaretă sau de ţigară este albastru dacă-i expirăm imediat în aer şi devine alb dacă îl ţinem cîtva timp în gură. În cazul din urmă, particulele de fum se acoperă cu un strat de apa şi devin mult mai mari.

Aburii unei locomotive sînt albaştri în imediata apropiere a supapei de ieşire şi albi mai sus, din cauza condensării şi creşterii dimensiunilor picăturilor. Remarcaţi diferenţa dintre fumul şi aburul locomotivei atît în lumina incidenţa, cît şi în cea transmisă şi niciodată să nu-i confundaţi !

Pînă în prezent am studiat difuzia în norii de fum relativ rarefiaţi; într-un fum foarte dens, fenomenul este mai complex, deoarece acolo lumina suferă difuzii secundare de la o particulă la alta. Urmărind fumul care se ridică deasupra unui foc în care ard frunze uscate, veţi vedea că marginea coloanei este uimitor de albastră, iar mai aproape, spre centru, unde fumul este mai dens, coloana este aproape albă. Putem să ne convingem uşor că lumina care ajunge în ochiul nostru după difuzia în straturi suficient de groase va fi totdeauna albă, deşi lumina difuzată de fiecare particulă poate fi albastră. La urma urmei, toată lumina care cade pe un nor de fum trebuie să iasă din el, dacă în nor are loc numai difuzia, dar nu şi absorbţia luminii (§ 189).

Fumul care iese din coşul caselor noastre şi al fabricilor este, de obicei, negru în lumina incidenţa, deşi coloana de fum este densă şi netransparentă. Aceasta arată că fulgii de funingine nu numai că difuzează lumina, dar o şi absorb intens. Prin straturi subţiri de fum de acest fel, cerul pare brun şi totuşi culoarea fumului în lumina difuzată poate fi numită, fără frică, albastră. Culoarea brună trebuie atribuită absorbţiei luminii în particulele de fum. Aceasta este în concordanţă cu faptul că absorbţia luminii în particulele de cărbune creşte rapid de la capătul roşu spre capătul violet al spectrului. O confirmare este şi culoarea roşie ca sîngele a Soarelui cînd îl privim prin fumul unui incendiu.

189. Cerul albastru[1]

Deasupra norilor cerul este veşnic albastrul
(H. Drachmann)

Pămîntul este înconjurat de frumuseţea fără margini a cerului albastru, care pare fără sfîrşit. Diversitatea sa de tente se schimbă de la zi la zi, de la un punct al cerului la altul.

Care este cauza acestei culori albastre uimitoare? Desigur, nu lumina emisă chiar de atmosferă, deoarece în acest caz culoarea trebuie să se vadă şi noaptea. Nu poate fi nici o sursă de lumină albastră situată undeva dincolo de atmosferă, deoarece noaptea vedem, în toată măreţia sa, acel fond negru în faţa căruia se află atmosfera. Prin urmare, cauza trebuie să se găsească în însăşi atmosferă. Nu poate fi vorba nici de o absorbţie de culoare obişnuită, deoarece Soarele şi Luna sînt mai curînd galbene decît albastre! Ţinînd seama de cele arătate mai sus, s-a ajuns la ipoteza că lumina cerului este pur şi simplu lumina difuzată a Soarelui! Ştim că difuzia pe particule mici creşte o dată cu apropierea de capătul violet al spectrului. Culoarea cerului conţine într-adevăr mult violet (faţă de care ochiul nostru nu este prea sensibil), o cantitate apreciabilă de albastru, puţin verde şi foarte puţin galben şi roşu. Combinaţia tuturor acestor culori dă albastrul cerului.

Dar ce fel de particule sînt acelea care difuzează lumina în atmosferă? Vara, după o perioadă de secetă îndelungată, aerul este plin de o mulţime de particule de praf şi nisip ridicate de vînt, care micşorează limita de vizibilitate. Uneori, ceru] pare mai curînd alb decît albastru. Însă după cîteva ploi abundente care îndepărtează praful din aer, atmosfera devine clară şi transparentă, iar cerul e de un albastru adînc. De fiecare dată cînd apar nori cirrus înalţi care umplu aerul cu cristale de gheaţă, culoarea albastră dispare, fiind înlocuită de una alburie, mai pală. Aşadar, difuzia luminii, care colorează bolta cerească, nu poate fi produsă nici de particulele de praf, nici de particulele de apă sau de gheaţă. Singura posibilitate este aceea că înseşi moleculele de aer, fiecare în parte, constituie centrii de difuzie; difuzia produsă de o moleculă este foarte slabă, însă suficientă pentru ca un strat cu o grosime de cîţiva kilometri să capete o strălucire considerabilă în care predomină culoarea violetă şi cea albastră (conform legii $1/\lambda^4$).

Lumina solară, aşa cum o vedem, îşi pierde razele albastre şi violete, care sînt difuzate în aer. De aceea, Soarele capătă o nuanţă slabă gălbuie, care devine mai intensă, atunci cînd Soarele se află aproape de orizont, deoarece, în acest caz, razele sale trebuie sa parcurgă prin aer un drum mai lung. Culoarea sa trece treptat în portocaliu, iar apoi în roşu, care este specifică Soarelui la asfinţit[2].

Vestita lege de difuzie a lui Rayleigh pentru particule mai mici decît 0,1 din lungimea de undă a luminii se exprimă prin formula:

$$s = const * (n-1)^2 / N\lambda^4$$

unde s înseamnă difuzia în unitatea de volum, N— numărul de particule pe 1 cm^3, iar n— indicele de refracţie.

190. Perspectiva aeriană[3]

O pădure îndepărtată formează un fond întunecat foarte potrivit pentru observarea difuziei în atmosferă. Cu cît pădurea este mai îndepărtată, cu atît pare mai ceţoasă şi mai albastră. Stratul gros de aer care se găseşte între noi şi pădure, iluminat lateral de razele Soarelui, difuzează lumina care se suprapune peste fond, acoperind parcă cu un voal obiectele situate dincolo de el. Din cauza aceasta, contrastele dintre porţiunile întunecate şi luminoase sînt atenuate şi fondul devine mai omogen şi mai albastru. Existenţa unei astfel de perspective aeriene influenţează evaluarea distanţei pînă la un grup de copaci. Un copac situat la o distanţă de 100 m are o tentă mai albastră decît unul situat lîngă noi. Verdele pajiştilor devine foarte repede albastru-verde (iar apoi şi albastru) o dată cu creşterea distanţei care ne desparte de ele. Şi mai frumos arată în aprilie cîmpurile cu răsaduri tinere, care au o culoare

---

[1] Cunoscutul geolog elveţian A. Heim a scris o carte foarte interesantă, Luafarben (Zurich, 1912), în care a descris într-un limbaj popular şi cu multă sensibilitate culorile cerului şi fenomenele de crepuscul. Cartea conţine anexate reproduceri în culori de acuarelă. În limba rusă există o monografie amănunţită: E. V. Piaskovskaia-Fesenkova, Isledovanie rasciania sveta v zemnoi atmosfere, M., 1957.
[2] J. Plassman, „Meteor. Zs.", 48, 412, 1931.
[3] A. Heim, Luftfarben. Zurich, 1912 ; V. Cornish, „Geogr. Journ.", 67, 506, 1926; din acest articol am reprodus, parţial, sfîrşitul § 190.

verde plină, foarte pură. Colinele îndepărtate par deseori albastre, ca în peisajele pictorilor din secolul al XVI-lea, cum sînt Van Eyck şi Memling. Dunele de-a lungul ţărmului între Zandvoort şi Hărlem, care se întind pînă departe în zări ca nişte valuri, cu vegetaţia lor luxuriantă, prezintă şi ele această „minune albastră"a orizontului. Datorită perspectivei aeriene, orice culoare devine ceva mai albastră, îmbinîndu-se armonios cu celelalte culori; numai roşul caselor şi verdele cîmpiilor din apropiere ne izbesc şi perturbă armonia culorilor. Observaţi aceasta singur!

Pe de altă parte, pe un fond luminos, putem încerca să descoperim şi alte transformări de culoare. În regiunile muntoase sînt interesante vîrfurile acoperite de zăpadă, în regiunile de şes şirurile de nori cumulus, orbitor de albi în apropiere şi din ce în ce mai gălbui în depărtare.

Totuşi lumina albastră difuzată pe un fond întunecat este mult mai evidentă decît colorarea în galben a părţilor strălucitoare. În primul caz, întunericul este înlocuit cu o mică cantitate de lumină, în al doilea caz are loc numai o neînsemnată modificare în strălucirea deja intensă; deosebirea relativă este mult mai mică (§ 77).

Pe cîmpiile Olandei, unde orizontul este deschis, perspectiva aeriană apare în toată măreţia ei. Datorită variaţiilor continue de umiditate, predomină alternativ lumina albastră difuzată de moleculele de aer şi lumina cenuşie, intensă, a cerului mohorît.

Uneori, între două ploi torenţiale, deasupra noastră trece un front de presiune ridicată şi aerul devine foarte transparent şi curat. În acest caz, perspectiva aeriană dispare aproape cu desăvîrşire şi se manifestă numai la distanţe mari. Ne mirăm cît de net sînt conturate trăsăturile peisajului şi cît de frapante sînt contrastele. Părţile întunecate ale peisajului sînt cu totul negre. Chiar şi la casele şi turnurile îndepărtate, se văd uimitor de clar toate detaliile şi culorile lor rămîn aproape nemodificate, deşi distanţa e mare. Un ochi antrenat deosebeşte aceste fenomene chiar pe obiectele situate la o distantă de 100—200 m.

Pe o zi mohorîtă, obiectele din primul plan sînt mai puţin bogate în culori, tinzînd mai mult spre cenuşiu. Neuniformităţile de teren în planul mijlociu ies mai mult în evidentă, deoarece şesurile le vedem printr-o perdea de pîclă mai densă decît înălţimile (vezi însă § 106).

Crestele colinelor care se ridică unele peste altele, precum şi fîşiile de păduri prezintă totdeauna o gradaţie splendidă de culori, şi anume: cele mai apropiate de noi par mai întunecate ; cele mai îndepărtate par mult mai luminoase, deoarece le vedem printr-un văl de pîclă care difuzează lumina. În sfîrşit, la distanţe foarte mari, vizibilitatea devine foarte slabă.

În zilele senine de vară, cînd barometrul indică o presiune atmosferică ridicată, în aer există o mulţime de particule de praf şi cerul este foarte strălucitor, deşi nu foarte albastru. Contrastele de umbră şi de lumină ies mai puţin în evidenţă şi, în plus, observatorul este aproape orbit de strălucirea cerului.

Peisajul inundat de lumina Lunii pare mult mai frumos atunci cînd nu exista de loc pîclă; pîcla slăbeşte lumina, şterge contrastele şi totul devine monoton, cenuşiu.

Datorită perspectivei aeriene, marinarul vede ţărmul îndepărtat într-o pîclă albastră, subţire, în contrast cu albastrul întunecat al valurilor, ale căror trăsături iesînevidenţă în prim plan. Pămîntul îndepărtat i se pare o împărăţie fermecată...

191. Lumina şi culoarea în regiunile de munte. Peisajul văzut din avion

Farmecul deosebit pe care-l exercită peisajul de munte asupra locuitorilor de la şes trebuie atribuit mai degrabă purităţii deosebite a aerului decît înălţimii, ca atare. Aici lipseşte fumul fabricilor din oraşele mari şi, prin urmare, în aer se găsesc mai puţine particule mari de praf, ceea ce face ca puritatea culorilor peisajului să crească şi să existe o perspectivă aeriană uimitoare. Datorită înălţimii mari, aerul este rarefiat şi capacitatea sa de difuzie este mai mică. La o înălţime mai mare de 3 000 m un turist neexperimentat se înşală întotdeauna în aprecierea distanţelor. Fără să-şi dea seama, el atribuie difuzia redusă apropierii peisajului observat. De pe vîrful muntelui, putem vedea cum aerul, care se află mai jos şi care este intens iluminat de Soare, acoperă văile ca un voal, în timp ce oamenii din vale nu văd nimic asemănător privind vîrfurile strălucitoare ale munţilor.

La înălţimi mai mari de 4 000 m, cerul pare albastru-negru, Soarele şi Luna capătă o culoare strălucitoare, aproape albă, în locul tentei galbene pe care o vedem în mod obişnuit. Cîmpiile de zăpadă strălucitoare ne orbesc, umbrele sînt foarte nete şi negre. Observînd aceste contraste puternice, învăţăm să admirăm frumuseţea deplină a peisajelor armonioase de la şes.

Cînd facem observaţii din avion, efectele optice sînt într-o anumită măsură diferite. Dacă zburăm la o înălţime mică, lumina parcurge doar o distanţă mică în stratul difuzant al aerului, înainte de a ajunge în ochiul nostru. Pîcla, care învăluie toate culorile cîtă vreme ne aflam pe Pămînt, dispare şi, un anumit timp, noi vedem culorile în toată puritatea lor. Aceasta explică acel farmec specific al peisajului de care se convinge oricine cînd se ridică la înălţimi mari.

192. De ce protejăm ochii cu mîna. Observarea culorilor printr-un tub[1]

De obicei, cînd cineva priveşte în depărtare, îşi protejează ochii cu palma. Palma ne apără ochii de lumina care cade lateral. Această lumină este difuzată în interiorul ochiului şi acoperă imaginea peisajului cu un văl de lumină albă difuzată.

Ne putem feri şi mai bine de lumina care cade lateral, dacă privim prin pumnul strîns nu prea tare. Cum se schimbă toate culorile în peisaj! Aceasta apare şi mai clar dacă privim printr-un tub mic de carton prevăzut cu cîteva diafragme.

Uitaţi-vă, la început, la obiectele vecine. Toate culorile lor par mai pline şi mai vii, copacii coniferi par mai verzi. Dacă măriţi puţin orificiul prin care priviţi, culorile devin pale foarte repede; aceasta arată că difuzia în interiorul ochiului are loc în special sub unghiuri mici. Tubul, intensificînd culorile, intensifică totodată şi contrastele şi permite o diferenţiere mai uşoară a obiectelor; aceasta explică obiceiul de a ţine mîna în faţa ochilor.

Priviţi acum în acelaşi mod un peisaj îndepărtat. El este acoperit de o pîclă de obicei albastră, care apare din cauza difuziei luminii în aer şi pe firele subţiri de praf. Este interesant că, în mod obişnuit, privind peisajul în întregime, noi nu observăm acest văl. În munţi, povîrnişurile par de obicei cenuşii sau brune, cu pete de păduri verzi împrăştiate ici-colo. Privind însă printr-un tub, observăm că întreaga pantă este în realitate albastră, ca şi pădurile de altfel; însă munţii sînt ceva mai întunecaţi şi de un albastru mai cenuşiu, pădurea este mai curînd verde-albastră.

Probabil că, în condiţii obişnuite, noi facem abstracţie, în mod inconştient, de vălul comun al peisajului. Chiar şi pe şes pare surprinzător cît de intens şi cît de albastru este de obicei acest văi aerian. O senzaţie asemănătoare avem cînd privim printr-un geam prăfuit; vălul se observă numai dacă folosim un tub[2].

193. Experienţe efectuate cu nigrometrul[3]

Nigrometrul este denumirea ştiinţifică a unui instrument foarte simplu. El constă dintr-un cilindru de carton ca acelea care se folosesc pentru trimiterea desenelor prin poştă, lung de 50 cm, cu diametrul de 3 cm şi prevăzut cu capace la ambele capete, într-unul din capace se practică un orificiu cu diametrul de 7 mm, în celălalt capac — unul de 3 mm. După ce ambele capete ale cilindrului se înfăşoară în hîrtie neagră, aparatul poate fi întrebuinţat.

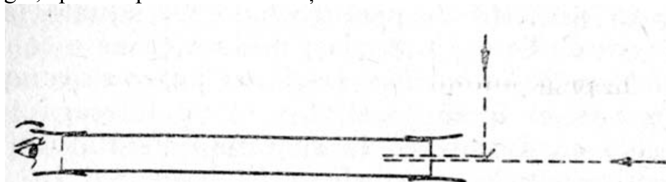


Fig. 150. Observaţii cu nigrometrul: măsurarea difuziei atmosferice.

Cînd se lucrează cu acest aparat, ochiul trebuie aşezat în dreptul orificiului mai mic, prin care orificiul mai mare se vede iluminat pe un fond aproape complet întunecat, îndreptaţi cilindrul spre fereastra unei case apropiate; veţi vedea că orificiul întunecat pare albastru; aceasta este lumina difuzată de stratul de aer iluminat de Soare, care se află între geam şi observator. Apropiaţi-vă de geam. Cu cît veniţi mai aproape, cu atît este mai slabă lumina albastră, deoarece coloana de aer difuzantă devine mai scurtă. La distanţe mici este mai bine să îndreptaţi nigrometrul asupra unei cutii negre în interior, prevăzută numai cu un mic orificiu. O astfel de cutie este un „corp negru" aproape perfect.

Să determinăm acum lungimea coloanei de aer care difuzează lumina în aceeaşi măsură ca şi întreaga grosime a atmosferei. Luaţi o bucată de sticlă înnegrită pe o parte (de exemplu o placă fotografică impresionată) şi ţineţi-o în faţa unei jumătăţi a orificiului sub un unghi de 45° faţă de axa cilindrului. Dacă e posibil, alegeţi direcţia astfel, încît în cilindru să se reflecte lumina porţiunii din cer îndepărtată de Soare cu 60° (fig. 150). Prin jumătatea neacoperită a orificiului trebuie să se vadă

[1] M. Minnaert, „Proc. Acad. Amsterdam", 66, 148, 1953.

[2] Cîteva observaţii cu totul de neînţeles au fost făcute de Haldane (The Philosophy of a Biologist, Oxford, 1935, p. 52). Printr-un tub culorile păreau parcă mai galbene, marea şi cerul aproape albe; cînd trecea un nor, culoarea albastră reapărea (?).

[3] R. Wood, „Phil. Mag.", **89,** 423, 1920.

geamul întunecat.

La ce distanță trebuie să ne îndepărtăm pentru a vedea ambele jumătăți ale orificiului iluminate identic? Pe o zi însorită senină veți găsi că această distanță este de circa 330 m; pe o zi însorită, dar puțin cețoasă, distanța este de circa 130 m.

Prin reflexie, sticla micşorează intensitatea luminii pînă la 5% din valoarea ei inițială (§ 60). Prin urmare, lumina este difuzată de porțiunea de cer situată la o distanță de 60° de Soare în aceeaşi măsură ca de o coloană de aer de 330 m*20 = 6,6 km. Dacă am putea să comprimăm atmosfera, astfel încît densitatea ei pe întreaga înălțime să fie egală cu densitatea la suprafața Pămîntului, „înălțimea echivalentă" a atmosferei ar fi de 8,8 km.

Într-adevăr, deoarece masa atmosferei pe 1 cm^2 este 1,033 x 10^3 g şi masa pe 1 cm^3 de aer este 0,001 293 g, obținem pentru „înălțimea echivalentă" 1,033 x 10^3 0,001 293 = 8,8 km.

Concordanța cu determinarea noastră optică nu este chiar atît de proastă! O putem considera ca o dovadă a faptului că particulele difuzante care creează perspectiva aeriană pe suprafața Pămîntului sînt de aceeaşi natură cu particulele care determină culoarea albastră a cerului. Faptul că rezultatul nostru de 6,6 km este ceva mai mic decît valoarea de 8,8 km poate fi considerat ca un indiciu al conținutului mai mare de praf şi, prin urmare, al difuziei mai mari în straturile joase ale atmosferei. Desigur, determinarea noastră este foarte grosolană din toate punctele de vedere; este greu să ne aşteptăm la mai mult decît obținerea ordinului de mărime corect.

194. Cianometrul (aparat pentru măsurarea albăstrimii cerului)

Amestecați alb de zinc şi funingine cu albastru de Prusia sau albastru de cobalt în proporții diferite. Aceste amestecuri nu se decolorează. Trasînd cu pensula fîşii de culori pe o bucată de carton şi numerotîndu-le, obținem un instrument pentru măsurarea culorii cerului. Această metodă se foloseşte foarte des în călătorii. Caracteristica cromatică a diferitelor fîşii ale scalei poate fi determinată colorimetric ulterior.

Cînd lucrăm cu cianometrul trebuie sa stăm cu spatele la Soare, astfel încît Soarele să lumineze fîşiile colorate.

195. Distribuția strălucirii pe cer

Studiați pe o zi senină cu ajutorul unui cianometru sau nigrometru distribuția luminii pe cer. Priviți înainte de toate cu ochiul liber. Folosiți o mică oglindă, pentru a compara între ele diferitele porțiuni ale cerului (fotografiile XIX şi XX) şi trasați curbele de strălucire egală (izo-fote) şi de albăstrime egală pe o diagramă ca cea din fig. 151; repetați aceasta la înălțimi diferite ale Soarelui. „Cu timpul, un ochi antrenat vede mersul izofotelor ca şi cum ele ar fi desenate pe fondul cerului"[1].

Teoria distribuției culorii şi luminii pe cer este foarte complicată, datorită faptului că aerul este iluminat nu numai de Soare, dar şi de cerul albastru; fenomenul se complică şi din cauza prezenței în atmosferă a prafului şi a picăturilor de apă, de a căror influență nu se poate ține seamă în mod riguros[2].

---

[1] C. Dorno, Physik der Sonnrnund Himmelsstrahlung, p. 116.
[2] Smosarski, „Ann. Geophys.", 2, l, 1946; el dă o teorie simplă. Calcule amănunțite se găsesc la: Chandrasekhar and Elbert, „Trans. Amer. Phil. Soc.", 44, 643, 1954.

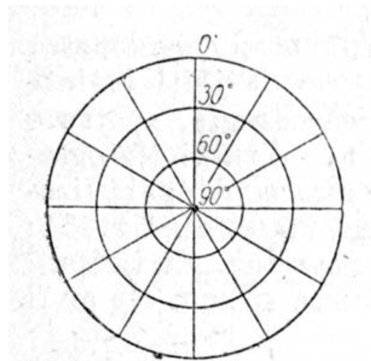


Fig. 151. Diagrama pe care se trasează liniile de egală strălucire şi de egală „albăstrime“ a cerului.

Punctul cel mai întunecat al bolţii cereşti se află totdeauna pe cercul vertical care trece prin Soare la o distanţă de circa 95° de acesta cînd Soarele este jos şi la circa 65° cînd se află sus. Prin acest punct trece „linia de întunecime" care împarte cerul în două părţi: o regiune strălucitoare în jurul Soarelui şi o altă regiune strălucitoare opusă acestuia. Forma şi mărimea acestor regiuni variază cu înălţimea Soarelui. Putem considera distribuţia luminii pe cer ca rezultatul combinaţiei următoarelor trei fenomene:

1. În apropierea Soarelui, strălucirea creşte repede şi devine chiar orbitoare, culoarea se apropie din ce în ce mai mult de alb (trebuie să stăm în umbra unei case, aproape de marginea umbrei).
2. La distanţa de 90° de Soare, cerul trebuie să fie cel mai întunecat şi cel mai albastru, însă
3. Intervine un al treilea efect: intensitatea luminii creşte de la zenit spre orizont şi, în acelaşi timp, culoarea devine mai albă. Acest efect se combină cu cele două menţionate mai înainte.

Primul fenomen poate fi măsurat foarte bine cu ajutorul nigrometrului. Să acoperim jumătatea cîmpului vizual cu o bucată de sticlă vopsită în negru pe o parte, astfel încît în ea să se reflecte porţiunea de cer apropiată de Soare şi să îndreptăm nigrometrul în aşa fel, încît în cealaltă jumătate să se vadă porţiunea cerului la 40—50° de Soare. Schimbînd direcţia cu cîteva grade într-o parte sau într-altă, vom găsi uşor direcţia în care ambele jumătăţi ale cîmpului au aceeaşi strălucire. Modificările de strălucire la astfel de mişcări se văd deosebit de bine în jumătatea de cîmp iluminată de imaginea părţii strălucitoare a cerului. Însăşi posibilitatea unei astfel de egalări a strălucirilor ne duce la concluzia că într-un punct apropiat de Soare strălucirea trebuie să fie de cel puţin 20 de ori mai mare decît la o distanţă de 45° de Soare. Difuzia foarte intensă sub unghiuri mici faţă de direcţia luminii incidente trebuie atribuită particulelor relativ mari care plutesc în aer: firelor de praf şi picăturilor de ploaie. Aceasta este în concordanţă şi cu faptul că în apropierea Soarelui culoarea este mai puţin albastră, ci mai curînd albă sau chiar galbenă ca Soarele, deoarece particulele mari difuzează toate culorile aproape identic (§ 189).

Al doilea efect este o consecinţă a însăşi legii difuziei. Sub un unghi de 90° difuzia trebuie să fie aproximativ de două ori mai slabă decît în punctul antisolar. Mai mult chiar, sub unghiuri atît de mari, particulele existente în aer difuzează lumina foarte puţin sau chiar de loc. Prin urmare, ceea ce vedem este numai lumina albastră pură difuzată pe înseşi moleculele de aer.

Al treilea efect apare în special datorită grosimii mari a stratului de aer dintre ochiul nostru şi orizont. Deşi fiecare particulă de aer difuzează mai ales razele violete şi albastre, tocmai aceste raze sînt slăbite cel mai intens în drumul lor lung de la particula difuzantă pînă la ochiul nostru. Dacă stratul de aer este foarte gros, aceste două efecte se compensează reciproc (§ 189).

Să presupunem că un element de volum la distanţa x de ochiul nostru difuzează fracţiunea s*dx. Această mărime este slăbită de e^{-s} ori înainte de a ajunge în ochiul nostru. Lumina care ajunge de la un strat infinit de gros va consta astfel din suma mărimilor care provin de la toate elementele dx, adică

$$\int_0^\infty s\, e^{-sx}\, dx,$$

care este egală cu 1. Aceasta nu depinde de s, adică de culoare. Cerul aproape de orizont trebuie să fie deci tot atît de strălucitor şi sa aibă aceeaşi culoare ca şi un ecran alb iluminat de Soare.

Recent s-a descoperit în mod neaşteptat că prezenţa ozonului (0_3) în atmosferă influenţează, de asemenea, culoarea cerului. Ozonul are culoarea albastră, datorită absorbţiei reale şi nu din cauza difuziei. Acest factor intră în joc la asfinţit. Dacă culoarea s-ar explica prin difuzie, cerul la zenit ar trebui să devină cenuşiu şi chiar galben (conform teoriei); faptul că aceasta nu se întîmplă şi cerul la zenit rămîne albastru se explică prin absorbţia luminii în ozon.

Este, de asemenea, pe deplin posibil ca straturile apropiate de Pămînt să conţină mai multe particule de praf, care măresc difuzia şi fac lumina „mai albă", chiar dacă stratul de aer nu poate fi considerat infinit gros.

Partea cea mai întunecată a cerului este totdeauna şi cea mai albastră şi are o culoare mai saturată. Aceasta înseamnă că nu există nori cu particule mai mici de 0,000 l mm, deoarece ele ar trebui să provoace o creştere locală a intensităţii luminii, fără a modifica totodată culoarea albastră.

Ruskin observă că albastrul cerului este exemplul cel mai bun de gradaţie uniformă a culorilor[1]. El ne sfătuieşte să studiem cerul după apusul Soarelui, reflectat într-un geam sau într-un cadru natural de copaci şi case. Închipuiţi-vă că priviţi un tablou: veţi fi uimiţi de caracterul lin şi uniform al tranziţiilor de culori.

Folosiţi un glob de grădină pentru a determina mai bine gradaţiile de strălucire şi albăstrime.

Priviţi cerul albastru printr-o bucată de sticlă plană roşie, suficient de mare pentru a putea privi cu ambii ochi. Zenitul vi se va părea alarmant de întunecat în comparaţie cu orizontul luminos. Aceasta se întîmplă pentru că lumina albastră aproape că nu trece prin sticlă, în timp ce lumina albă a orizontului trece prin ea destul de bine. Astfel putem înţelege de ce structura norilor cirrus care se destramă ni se pare neobişnuit de fină dacă îi observăm printr-un geam roşu.

196. Variabilitatea culorii cerului albăstrii[2]

Culoarea cerului albastru variază zilnic în funcţie de cantitatea de praf şi picături de apă din aer; pentru astfel de comparaţii este nevoie de un cianometru. Albastrul cel mai profund se vede în timpul înseninărilor temporare intre două averse de ploaie, cînd se stabileşte o presiune ridicată. Pe de altă parte, cerul devine albicios o dată cu apropierea unei depresiuni (o regiune de presiune joasă), chiar înainte ca să apară norii cirrus, sau vara, cînd atmosfera este plină de praf.

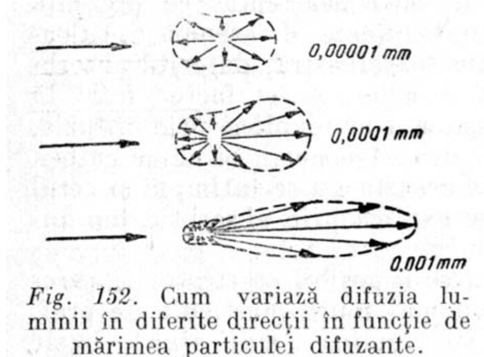


Fig. 152. Cum variază difuzia luminii în diferite direcţii în funcţie de mărimea particulei difuzante.

Comparaţi culoarea cerului la latitudinile nordice cu albastrul cerului din sud.

Comparaţi albastrul cerului la diferite ore ale zilei. Cerul este cel mai albastru în timpul apusului sau răsăritului Soarelui; faptul este lesne de înţeles: în momentul acesta, punctele apropiate de zenit se află la o distantă de 90° de Soare şi de orizont (vezi § 189).

Particulele mici difuzează în special culoarea violetă şi albastră, în mod aproape uniform în toate direcţiile.

Particulele mari difuzează toate culorile la fel de intens (lumina albă) şi In special sub unghiuri mici (fig. 152).

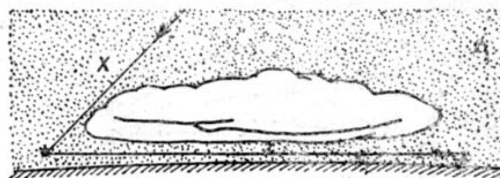
197. Cînd este culoarea cerului îndepărtat portocalie şi cînd este ea verde?[3]

---

[1] Elements of Drawing, XV, 35.
[2] Spangenberg, „Ann. Hydr.", 71, 93, 1943.
[3] [1]M. Minnaert, „Hemel en Dampkring", 29, l, 1931.

Am văzut că, atunci cînd cerul este senin, orizontul are aceeaşi culoare ca şi o foaie de hîrtie albă iluminată direct de Soare. Este clar, deci, că la apusul Soarelui, cînd totul este inundat de lumina portocalie caldă a asfinţitului, orizontul trebuie să aibă aceeaşi culoare.

Fig. 153. Atunci cînd deasupra unei părţi mari a peisajului se răspîndesc nori grei, orizontul pare uneori colorat într-o lumină portocalie caldă.



Uneori însă orizontul depărtat devine portocaliu cu mult înainte de apusul Soarelui. Un şir întunecat de nori grei acoperă întregul peisaj şi numai departe la orizont rămîne o „fereastră" prin care luminează Soarele (fig. 153). În astfel de momente, această mică porţiune de cer are o culoare portocalie uimitor de caldă, care scoate în evidenţă siluetele întunecate ale clădirilor îndepărtate şi produce o impresie şi mai profundă, datorită faptului ca restul peisajului este cufundat în întuneric.

Este interesant faptul că Ruskin a observat acest fenomen în toate amănuntele, deşi pe vremea aceea nu existau încă motive teoretice pentru a bănui existenţa sa[1].

Explicaţia este următoarea: să considerăm un volum de aer la distanţa x, iluminat de razele solare care parcurg în atmosferă drumul X. În ipoteza că pe un kilometru de drum se difuzează o fracţiune s de lumină, intensitatea în punctul x trebuie sa fie proporţională cu e^{-s}. Moleculele de aer care se află în x difuzează în direcţia ochiului nostru o fracţiune de lumină incidenţa proporţională cu s astfel încît dacă intensitatea în x este egală cu l, fracţiunea care ajunge la ochiul nostru trebuie să fie se^{-s}. Însă intensitatea în x este proporţională cu e^{-s}; prin urmare, intensitatea luminii care cade într-adevăr în ochiul nostru este proporţională cu se^{-s} sau $se^{-s(x+X)}$. Această expresie are un maximum pentru valori mijlocii ale lui s; pentru valori mari şi mici ale lui s ea tinde spre zero. Aşadar, lumina, cu lungimea de undă mare, este foarte puţin difuzată pe drumul ei în aer; lumina, cu lungimea de undă mică însă, este slăbită într-o măsură considerabilă cînd parcurge distante mari în atmosferă. Fig. 154 arată cum variază compoziţia luminii care cade în ochiul nostru dintr-un volum elementar de aer pentru care x+X este egal cu 0, 8, 16, 24, 40, 48 km. Maximul, adică culoarea pentru care lumina care ajunge la noi are maxim de intensitate, se deplasează din ce în ce mai mult de la albastru spre roşu, corespunzător cu îndepărtarea părţii iluminate a aerului. Pentru x + X = 35 km, culoarea devine practic verde ; la 45 km, ea se transformă în portocaliu.

Aceasta explică, de asemenea, originea culorii verzi frumoase a cerului pe care o vedem uneori, de exemplu după ninsoare. Din fig. 154 rezultă că în acest caz componenta verde predomină numai puţin asupra altor culori, astfel încît culoarea verde trebuie să fie numai slab saturată, ceea ce se şi observă de fapt.

În realitate, componentele verde şi galben există totdeauna în lumina orizontului, însă atunci cînd nu există nori ele se amestecă cu albastrul care apare pe particulele mai apropiate, dînd naştere la lumina albă. În prezenţa norilor, efectele luminoase neobişnuite apar atunci cînd raza luminoasă trece printr-un spaţiu umbrit, iar cînd în norii care acoperă cerul se formează două-trei luminişuri, este posibilă apariţia unor nuanţe de culori din cele mai diferite.

---

[1] Huskin, Modern Painters, III, 349.

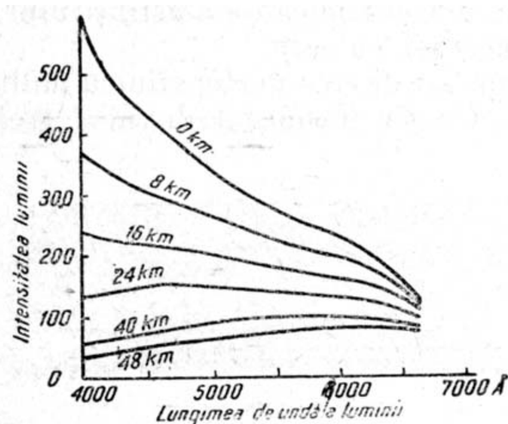


Fig. 154. Compoziţia luminii care cade în ochiul nostru dintr-un volum mic de aer, în funcţie de distanţele pînă la acest volum. Trasînd acest grafic, am folosit coeficientul de difuzie definit pentru atmosferă în ansamblu (strict vorbind, ar fi trebuit să folosim coeficientul de difuzie pentru straturile mai jcase ale atmosferei).

198. Culoarea cerului în timpul eclipsei de Soare

O eclipsă parţială de Soare ne permite să vedem cum se schimbă culoarea cerului din cauza umbrei Lunii şi cum diferă culorile în partea de unde vine umbra şi în partea înspre care ea se propagă.

Eclipsa totală de Soare, care are loc, din păcate, mult prea rar, este însoţită de o bogăţie mult mai mare de culori. Partea cerului de unde se apropie umbra pare purpurie întunecată, că şi cum s-ar pregăti o furtună. În timpul fazei totale, cerul în depărtare pare portocaliu întunecat, deoarece, în afara zonei de fază totală, atmosfera este iluminată de Soare şi această parte iluminată a atmosferei se vede prin partea sa neiluminată (vezi § 197).

199. Polarizarea luminii cerului albastru

Gradul de polarizare al cerului albastru este foarte mare. Efectul este deosebit de clar cînd Soarele se află aproape de orizont. Polarizarea poate fi observată cu ajutorul unei prisme nicol sau, mai simplu, folosind o bucată de sticlă acoperită cu un strat negru. Dacă raza de lumină cade pe această sticlă sub un unghi de circa 60° faţă de normală („unghiul de polarizare"), lumina reflectată este aproape complet polarizată şi oscilaţiile în raza reflectată sînt perpendiculare la planul de incidenţă[1].

Să vedem acum cum se reflectă în sticlă porţiunea de cer care se află deasupra noastră; sticla trebuie ţinută aproximativ la 20 cm deasupra nivelului ochilor noştri, astfel încît reflexia să fie cît mai aproape de unghiul de polarizare (fig. 155a). Dacă va rotiţi după azimut, ţinînd sticla în aşa fel, ca ea să reflecte tot timpul acelaşi punct deasupra capului vostru, veţi vedea că imaginea reflectată este strălucitoare dacă staţi cu faţa sau cu spatele la Soare şi mai întunecată dacă staţi sub un unghi drept faţă de această direcţie. Aceasta înseamnă că vibraţiile electrice în raza luminoasă care vine de la zenit sînt perpendiculare la planul care trece prin Soare, zenit şi ochiul nostru. Aceasta este într-adevăr o regulă generală atunci cînd lumina este difuzată de particule mici.

---

[1] Se poate folosi şi un film polarizant denumit „polaroid".

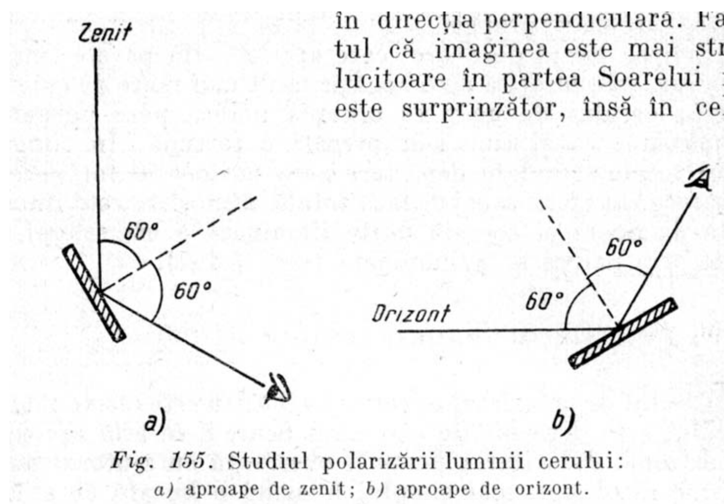


Fig. 155. Studiul polarizării luminii cerului:
a) aproape de zenit; *b)* aproape de orizont.

Să privim acum reflexia unei porţiuni de cer aproape de orizont, continuînd să ţinem sticla astfe], încît unghiurile de incidenţă şi de reflexie să fie egale cu unghiul de polarizare (fig. 155,6). Imaginea va fi strălucitoare în partea Soarelui şi în partea opusă Soarelui, şi întunecată în direcţia perpendiculară. Faptul că imaginea este mai strălucitoare în partea Soarelui nu este surprinzător, însă în celelalte trei direcţii, privit fără sticla reflectantă, cerul apare cu o strălucire aproape uniformă, aşa încît deosebirea observată în lumina reflectată trebuie pusă în întregime pe seama efectului de polarizare. Porţiunea de cer din apropierea orizontului în partea opusă Soarelui ne trimite numai lumină slab polarizată, în timp ce polarizarea luminii de la celelalte două porţiuni ale cerului este intensă şi oscilaţiile au loc într-un plan vertical, adică într-o direcţie perpendiculară la planul care conţine Soarele, punctul observat şi ochiul nostru.

Uneori se pune întrebarea: nu cumva natura însăşi ne pune la dispoziţie mijloacele pentru astfel de experienţe? Într-adevăr, chiar şi imaginea cerului într-o apă liniştită este suficientă pentru a deosebi clar regiunile mai întunecate ale cerului; trebuie să privim pe suprafaţa apei sub un unghi ceva mai mare de 50°, întorcîndu-ne succesiv spre cele patru puncte cardinale. Cînd Soarele este aproape de orizont, apa la nord şi la sud pare mult mai întunecată decît la vest şi est. Din practica mea personală, ştiu că această experienţă reuşeşte, uneori, dar nu prea des: de obicei strălucirea cerului nu este uniformă sau suprafaţa apei nu este suficient de liniştită.

Mai convingător este faptul că uneori norii mici, care se disting cu greu pe cer, pot fi văzuţi mult mai clar cînd se reflectă în apă, din cauză că lumina lor, nefiind polarizată, este slăbită într-o măsură mai mică decît lumina polarizată a cerului. Fireşte, efectul este şi mai intens dacă cerul şi norii se observă printr-un nicol sau dacă privim imaginea lor pe o sticlă neagră. Cel mai bine este să alegem momentul cînd Soarele se află la apus sau la răsărit la o înălţime mică pe cer şi să observăm nori mici situaţi la o înălţime de 20—40° la sud sau la nord, unde lumina cerului este cel mai puternic polarizată. Direcţia oscilaţiilor este aproape perpendiculară pe dreapta care uneşte această parte a cerului cu Soarele, adică este apropiată de verticală, astfel încît în bucata de sticlă aşezată pe masă în faţa noastră vedem lumina acestei porţiuni a cerului mult slăbită şi, de aceea, norii mici se evidenţiază mai clar.

Există un aparat special pentru cercetarea polarizării luminii cerului: polariscopul lui Savart, care este un instrument mic, simplu şi foarte sensibil. Ţinînd seamă însă că numai puţini iubitori ai naturii posedă asemenea aparate şi că observaţiile de acest fel constituie un domeniu cu totul special al opticii meteorologice, ne vom mărgini la indicarea cîtorva studii în legătură cu această problemă[1]. De altfel, ea constituie o preocupare foarte interesantă şi multilaterală pentru cei care o fac în mod serios şi sistematic.

Polarizarea cerului poate fi observată uşor cu ajutorul unui nicol (sau polaroid), dacă-i rotim în jurul axei sale. Metoda pe care o descriem mai departe este foarte sensibilă, însă poate fi folosită numai în amurg. Alegeţi o stea cît mai slabă, abia perceptibilă, şi încercaţi să observaţi dacă ea se vede mai bine în unele poziţii ale nicolului decît în altele. Această metodă se bazează pe acelaşi principiu ca şi metoda norilor mici descrisă mai înainte. Lumina stelei nu este polarizată şi cu cît fondul este mai întunecat, cu atît steaua se vede mai clar; astfel, modificările de vizibilitate indică variaţia strălucirii fondului, adică polarizarea luminii cerului.

---

1 [1]Fr. Busch und Gh r. Jensen, Tatsachen und Theorien der atmospherischen Polarisation, Hamburg, 1911 ; Plassmann, „Arin. d. Hydr.", 40, 478, 1912; „Wetter", **34,** 133, 1917.

Din acelaşi motiv, nicolul măreşte ziua vizibilitatea obiectelor îndepărtate dacă-i orientăm astfel, încît să „taie" lumina difuzată de cer. Coloanele albe îndepărtate, farurile marine, pescăruşii etc. se evidențiază mai clar pe fondul cerului, însă numai într-o zi senină; într-o zi mohorîtă, lumina cerului cenuşiu este mai slab polarizată. Acțiunea nicolului se manifestă mai puternic în direcția de 90° față de Soare: în această direcție se cîştigă aproximativ o unitate de mărime de strălucire.

În America, polaroidul se foloseşte pentru detectarea incendiilor în păduri. Fumul nu polarizează lumina, şi incendiul poate fi observat pe fondul cerului.

Cercetați, cu ajutorul unei sticle înnegrite, polarizarea diferitelor puncte ale cerului albastru şi încercați să obțineți un tablou de ansamblu. Putem oare observa regiunile de direcție de polarizare anormală deasupră Soarelui, precum şi deasupra punctului antisolar? Ce se întîmplă dacă imaginea cerului albastru într-un glob de grădină este privită într-o sticlă înnegrită sub unghiul de polarizare?

200. Periile (petele) lui Haidinger[1]

Mulți fizicieni care lucrează în laboratoare se miră şi sînt neîncrezători cînd li se spune că polarizarea luminii cerului poate fi observată cu ochiul liber, fără nici un fel de instrument. Aceasta necesită însă o anumită practică. Trebuie să începem cu lumina complet polarizată, studiind reflexia cerului pe o suprafață de sticlă sub unghiul de pola-rizație (§ 199). După ce observăm timp de un minut sau două imaginea cerului albastru uniform, începe să apară un efect de „marmură". Acest efect este înlocuit curînd în direcția în care este îndreptată privirea noastră de o figură interesantă cunoscută sub numele de peria lui Haidinger, care seamănă mai mult sau mai puțin cu aceea din fig. 156. Este vorba de o perie gălbuie, cu mici nori albaştri pe ambele părți. Peria galbenă se află în planul de incidență al luminii reflectate de sticlă; cu alte cuvinte, ea este totdeauna perpendiculară la direcția oscilațiilor de lumină.

Figura dispare după cîteva secunde, însă dacă va fixați privirea asupra unui punct de pe suprafața sticlei, apropiat de figură, aceasta apare din nou![2].

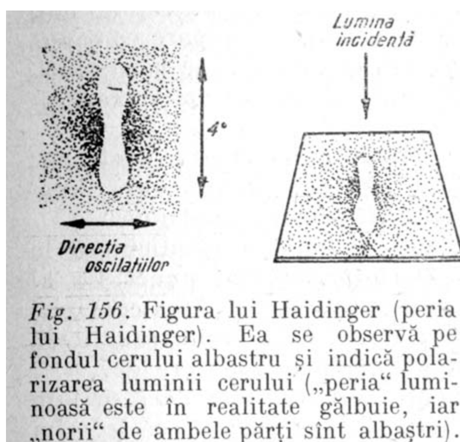


Fig. 156. Figura lui Haidinger (peria lui Haidinger). Ea se observă pe fondul cerului albastru şi indică polarizarea luminii cerului („peria" luminoasă este în realitate gălbuie, iar „norii" de ambele părți sînt albaştri).

Peria lui Haidinger nu este uşor de văzut: problema constă, pare-se, în a ne obişnui sa distingem acest contrast slab de neuniformitățile inerente ale fondului. Trebuie să ne exersăm de cîteva ori pe zi, de fiecare dată timp de cîteva minute. După o zi sau două, periile lui Haidinger vor putea fi observate uşor cînd privim cerul senin, deşi lumina cerului este polarizată numai parțial. Eu le văd deosebit de clar în amurg, dacă privesc spre zenit, întreg cerul pare acoperit de un fel de sită şi oriunde aş privi, văd peste tot această figură caracteristică. Este foarte comod să ştim să determinăm pe această cale, fără ajutorul vreunui instrument, direcția de polarizație şi chiar să apreciem gradul ei. „Peria" galbenă, dacă o prelungim ca pe arcul unui cerc mare, este în general îndreptată spre Soare. Aceasta arată că vibrațiile luminii difuzate se produc perpendicular la planul care trece prin Soare, molecula de aer şi ochi.

[1] F r. Busch şi Ghr. Jensen, op. cît.; Helmholtz, Physiologische Optik, ediția a 3-a, II, 256; Th. Mendelsohn, „Rev. Faculte des Se. Istambul", 3, fasc. 2, 1938.
[2] Dacă aveți la dispoziție un nicol sau un polaroid, priviți prin el un nor alb sau o suprafață uniform iluminată şi încercați să distingeți această figură, folosind faptul că ea se roteşte cînd învîrtim nicolul.

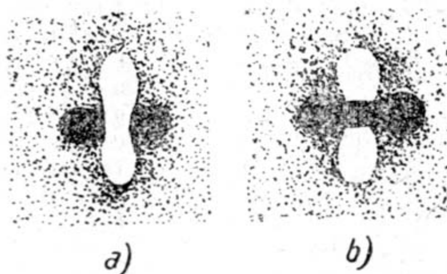


Fig. 157. Noi nu vedem întotdeauna în acelaşi mod figura lui Haidinger:
a) banda continuă este cea galbenă;
b) aici banda albastră este continuă.

Peria lui Haidinger poate fi văzută şi mai clar în imaginile cerului într-un glob de grădină, dacă capul observatorului ecranează imaginea Soarelui (vezi § 12). În acest caz putem observa, de asemenea, o mică regiune în jurul Soarelui în care peria galbenă nu este îndreptată spre Soare, ci formează un unghi drept cu direcţia la Soare; marginea dintre această regiune şi cea obişnuită are aspectul unei umbre.

Peria lui Haidinger este produsă de dicroismul petei galbene a retinei noastre. Deoarece diverşi observatori văd această figură în moduri diferite, nu încape îndoială că pata galbenă are forme şi structuri diferite. De exemplu, unii nu văd partea albastră a figurii; unora li se pare continuă partea galbenă a figurii, în timp ce altora li se pare continuă cea albastră (fig. 157). Iată două afirmaţii care se contrazic reciproc:

1. După prima impresie, banda galbenă este continuă; cînd ochiul este obosit după o încordare îndelungată, imaginea se schimbă şi banda albastră devine continuă.
2. Banda continuă este întotdeauna perpendiculară la dreapta care uneşte ochii. Dacă priviţi un punct fix al cerului, rotind capul cu 90°, la început vi se va părea continuă prima culoare, iar apoi cea de-a doua. Caracterul tranzitoriu al figurii îngreuiază formarea unei păreri despre ea.

Peria lui Haidinger se vede mult mai clar dacă privim printr-o sticlă verde sau albastră. Ea dispare dacă folosim o sticlă roşie sau galbenă. Este interesant faptul că aproape de orizont ea pare de două ori mai mare decît în înaltul cerului; aceasta înseamnă că dimensiunile vizibile ale figurii lui Haidinger se schimbă ca şi dimensiunile Soarelui şi Lunii (§ 126).

> „Uneori, cînd rămîn singur în salon, în timp ce Liubocica începe să cînte cîte o bucată veche, eu las cartea fără să vreau şi, îndreptînd,u-mi ochii spre uşa deschisă a balconului, privesc ramurile bogate şi grele ale mestecenilor înalţi peste care coboară umbra înserării, privesc cerul senin, în care, cînd îţi pironeşti ochii, vezi mici pete de pulbere gălbuie ce dispar numaidecît..."
>
> (L. N. Tolstoi, Tinereţea)

201. Difuzia luminii pe ceaţă

Vorbim despre ceaţă atunci cînd obiectele nu pot fi distinse la distanţe mai mari de l km. Dacă însă ele rămîn vizibile la o distanţă pînă la 2 km, vorbim despre pîclă.

Pătura subţire de ceaţă din zori, prin care luminează Soarele, este deosebit de fermecătoare şi dă o nuanţă poetică chiar şi celui mai prozaic peisaj. O ceaţă mai densă ne împiedică să vedem la distanţe mari, iar copacii şi casele apropiate, învăluite de ea,ni se par situate la mare depărtare. În acelaşi timp, dimensiunile aparente mari ale caselor şi copacilor ne uimesc, făcîndu-ne să credem că au o înălţime extraordinară. Datorită combinării acestor impresii, adeseori, într-un mod cu totul inconştient, ceaţa împrumută un aspect de palat clădirilor şi înalţă vîrfurile turnurilor pînă la nori.

Culorile obiectelor văzute prin ceaţă rămîn de obicei neschimbate, Soarele, deşi mai puţin strălucitor, rămîne tot alb, iar felinarele îndepărtate nu se deosebesc prin culoare de cele apropiate. Există însă şi alte cazuri: de exemplu. Soarele la o înălţime mare deasupra orizontului pare uneori roşu prin ceaţă. Aceasta s-a observat, de exemplu, la Utrecht la 14 mai 1940, cînd un nor uriaş se ridicase deasupra Rotter-damului, supus unui bombardament şi ajunse cu timpul la Utrecht; Soarele şi Luna căpătară o nuanţă portocalie densă. Totul depinde, desigur, de mărimea picăturilor; sursa de lumină pare roşiatică atunci cînd picăturile sînt atît de mici, încît se apropie ca dimensiuni de lungimea de undă a luminii şi difuzează în special razele albastre şi violete, influenţînd mai puţin cele galbene şi roşii (§ 189). Întrucît ceaţa este iluminată atît de lumina difuzată cît şi de cea transmisă, ea însăşi în aceste

cazuri este albă, în orice caz, mai albă decît Soarele portocaliu-pal. Ceața densă nu este albăstrie, lumina difuzată reprezintă pînă la 99% din cea incidența şi, de aceea, ceața este întotdeauna albă, deşi fiecare element al volumului său poate difuza îndeosebi raze albastre.

Observați că pe ceață, trăsăturile obiectelor rămîn tot atît de nete ca şi înainte. Totul este învăluit de lumină, contrastele se şterg, însă nu apar tranziții difuze între părțile luminoase şi cele întunecate ale peisajului.

Picăturile relativ mari, ca acelea care formează ceața, difuzează o mare parte din lumină înainte, sub un unghi mic față de direcția inițială de incidență. Aceasta explică de ce ceața subțire poate fi văzută mult mai clar în direcțiile apropiate de Soare. Fotografii admirabile ale cetii în Soare se pot obține într-o pădure pozînd contra luminii; aparatul trebuie îndreptat puțin lateral față de Soare.



Fig. 158. Cum se formează în ceață umbra în spatele unui obiect oarecare.

Lucrul cel mai uimitor este caracterul „spațial" al umbrelor într-o ceață densă (fig. 158). Apropiindu-ne de un copac, al cărui trunchi este iluminat de Soare, vom vedea o mare cantitate de lumină în direcțiile AO şi BO, deoarece în aceste direcții, picăturile numeroase ale cetii, difuzînd lumina, fac ca aerul să „autolumineze". De-a lungul dreptei CO se vede mult mai puțină lumină, deoarece aici aerul nu este luminat. Dacă ochiul se deplasează puțin lateral, de exemplu în O', părțile luminoase şi întunecate ale cetii se suprapun şi umbra nu mai poate fi observată. Mai mult decît atît, în direcțiile AO' şi BO' va fi în general greu să vedem lumina, deoarece sub un unghi atît de mare, difuzia devine neglijabilă. Prin urmare, umbra „atîrnă" în spațiu în spatele fiecărei ramuri şi fiecărui stîlp, însă n-o să vedeți această umbră pînă cînd nu intrați în ea. Şi mai surprinzătoare este imaginea noaptea, cînd fiecare lumină de stradă şi farurile fiecărui automobil fac ea ceața să lumineze, iar orice obiect să arunce umbre, care însă pot fi văzute numai din spate. O plimbare pe ceață este, din punct de vedere optic, o adevărată plăcere!

Este surprinzătoare umbra verticală pe care o observăm cîteodată în ceață deasupra turnurilor cînd privim în direcția Soarelui.

Privind într-o direcție transversală la umbră, uneori puteți vedea în ea fişii, de exemplu cînd razele solare cad oblic pe acoperişurile caselor şi priviți mai mult sau mai puțin de-a lungul liniei umbrei, care abia se conturează în aer.

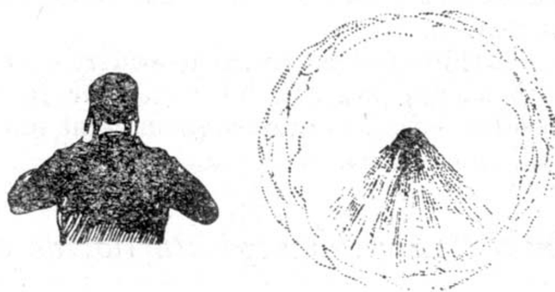


Fig. 159. „Spectrul muntelui Brocken".

Este cu mult mai greu să observi difuzia în direcție opusă, pe timp de ceață. Ceața trebuie să fie formată din picături foarte mici şi să fie totodată densă; în afară de aceasta, în spatele nostru trebuie să fie o sursă foarte strălucitoare, iar în fața noastră un fond întunecat. Uneori, stînd în fața unei ferestre deschise într-o noapte cețoasă, putem vedea umbra noastră proiectîndu-se pe ceață, dacă în spatele nostru există o lumină puternică. Observați că umbra se proiectează pe ceață şi nu pe pămînt, deoarece ea se vede chiar dacă lampa este aşezată ceva mai jos decît capul nostru. Aşteptați pînă cînd ochii vi se obişnuiesc cu întunericul din jur, apărîndu-i cu mîinile de lumina laterală (fig. 159).

Umbra brațelor este foarte alungită în ceață, iar umbra corpului devine uriașă și capătă o formă conică. Toate benzile de umbră converg înspre umbra capului, care este totodată „antipunctul" lămpii. În jurul acestui punct se formează un inel luminos care poate fi văzut mai bine dacă va mișcați în dreapta și în stînga. Această minunată imagine nu este altceva decît „spectrul muntelui Brocken" care ne lasă o impresie atît de profundă cînd îl observăm de pe un pisc înalt pe timp de ceață cu Soare. Dimensiunile mari ale fenomenului sînt datorite faptului că umbra nu se află într-un singur plan ci se întinde probabil pe o adîncime de zeci de metri.

Un ciclist iluminat din spate de lumina orbitoare a farurilor unui automobil vede uneori umbra sa în ceață mărită pînă la dimensiuni gigantice. Același fenomen apare atunci cînd capul unui ciclist este iluminat de farul unei alte biciclete.

Cercul luminos și umbrele care se disting pe el apar datorită faptului că o mică parte din lumină este difuzată pe picăturile de ceață în direcție opusă; toate aceste raze care ni se par convergente sînt în realitate paralele sau aproape paralele (vezi §§ 212, 240).

202. Difuzia luminii în nori

Este interesant că anumite tipuri de nori fac ca noi să nu putem vedea clar conturul Soarelui: uneori în locul Soarelui se vede numai o pată luminoasă difuză. Așa se întîmplă, de exemplu, în cazul norilor altostratus, prin care Soarele luminează ca printr-o sticlă mată.

Comparați cu aceasta aspectul Soarelui în ceață sau atunci cînd el este văzut prin alte tipuri de nori, care estompează strălucirea Soarelui, însă lasă marginile discului solar net conturate.

Trebuie însă să avem în vedere că aici poate juca un rol și refracția neuniformă a razelor în diferite straturi ale aerului, care în anumite locuri sînt mai calde sau mai reci, mai umede sau mai uscate.

203. Vizibilitatea picăturilor de apă

În timpul unei ploi torențiale este interesant de observat în ce direcție se văd mai ușor picăturile care cad. Picăturile nu se văd nici pe fondul cerului strălucitor, nici pe fondul pămîntului, însă ele se pot observa clar pe fondul caselor și al copacilor. Firește, ele pot fi văzute numai în cazul cînd deviază razele de lumină și cînd lumina apare acolo unde înainte era întuneric. Se pare că razele de lumină sînt deviate mai ales sub unghiuri mici, de la O la 45°. Cu cît această deviere modifică mai mult strălucirea fondului, cu atît picăturile se văd mai clar. Dacă în timpul ploii strălucește Soarele, picăturile din apropierea sa scînteiază mai strălucitor decît în mod obișnuit; aceasta se întîmplă datorită deosebirilor uriașe dintre strălucirea Soarelui și a cerului, astfel încît refractarea luminii în fiecare picătură este deosebit de puternică. Aceste benzi strălucitoare de ploaie creează în peisaj o atmosferă deosebită, contopind într-una singură două imagini atît de contrastante ca lumina solară înviorătoare și cerul mohorît.

Pe fondul întunecat putem vedea picăturile strălucind ca niște perle: pe cerul luminos ele par rareori întunecate. Aceasta este o consecință a principiului general că ochiul este sensibil fată de raportul intensităților luminoase și nu față de diferența lor (§ 74).

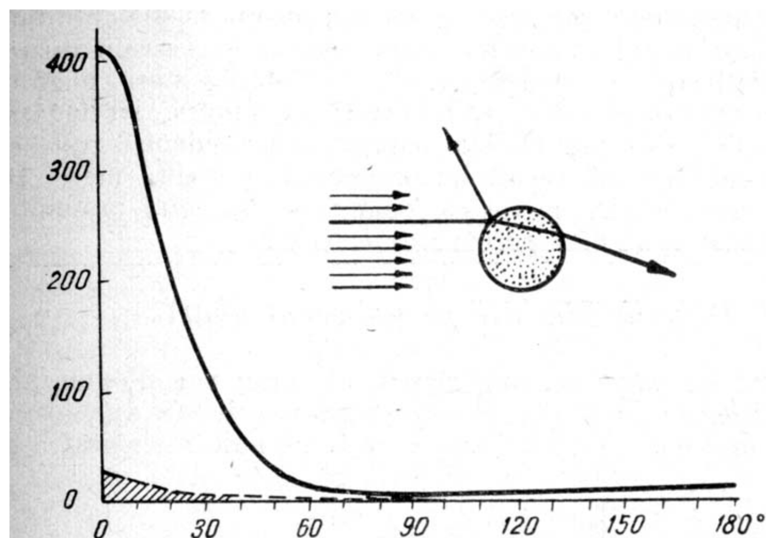


Fig. 160. Lumina solară care joacă în picăturile de ploaie se refractă şi se reflectă în toate direcţiile. Graficul reprezintă distribuţia luminii în funcţie de unghiul de deviere. Regiunea haşurată indică fracţiunea de lumină reflectată.

Dacă o lumină cu intensitatea 100 cade pe o picătură, iar intensitatea luminii difuzate de picătură este 10, picătura va putea fi văzută foarte clar pe un fond întunecat cu intensitatea 5, deoarece raportul intensităţilor este 2:1. Pe de altă parte, micşorarea intensităţii luminii transmise de la 100 la 90 înseamnă că raportul intensităţilor pentru o picătură ce se vede pe fondul cerului este numai de 10:9, ceea ce poate fi cu sreu observat, însă dacă picăturile sînt aproape de noi, de exemplu picăturile mari de pe umbrelele noastre, ele par întunecate în cădere şi în timpul unei ploi torenţiale putem vedea benzi paralele întunecate pe fondul luminos al luminişurilor din nori. Un fenomen asemănător poate fi observat la fîntînile arteziene şi în jetul de apă al unui furtun.

Aplicînd legile obişnuite ale opticii, putem calcula uşor contribuţia razelor reflectate pe suprafaţa picăturii, precum şi a celor care trec prin picătură după refracţie, la distribuţia finală a luminii (fig. 160). Se constată că acestea din urmă joacă un rol mult mai important şi că lumina este într-adevăr deviată sub unghiuri mici, aşa cum au arătat-o şi observaţiile directe.

204. Difuzia luminii pe iarba acoperită de rouă

Călătoresc cu trenul şi privesc o pajişte mare iluminată de Soarele de dimineaţă. Pajiştea este acoperită uniform de rouă. Mişcarea rapidă a trenului mă ajută s-o cuprind în întregime cu privirea. Observ că din depărtare pajiştea difuzează lumina mai puternic şi culoarea ierbii aproape că nu poate fi distinsă; acolo cîmpia pare ceva mai albă decît în partea mai apropiată de mine.

În părţile care sînt foarte apropiate de mine văd numai benzi luminoase separate, şi cu cît mă uit la distanţe mai mari, cu atît ele devin mai numeroase şi mai strălucitoare.

Explicaţia este foarte simplă: la distanţă mare, unghiul dintre raza incidenţa şi cea reflectată este maxim, iar unghiul de deviere este minim. Din paragraful precedent rezultă că şi strălucirea trebuie să fie maximă la distanţă mare. De asemenea, înţelegem de ce fenomenul este mai pronunţat cînd Soarele se află aproape de orizont.

205. Difuzia luminii pe un geam aburit

Privite prin geamul aburit al unui vagon, luminile becurilor de stradă par ca nişte pete luminoase de dimensiuni cînd mai mari, cînd mai mici, în funcţie de intensitatea de aburire a geamului. Se poate calcula uşor raza r a petei circulare, precum şi distanţa A pînă la ochiul nostru (fig. 161).

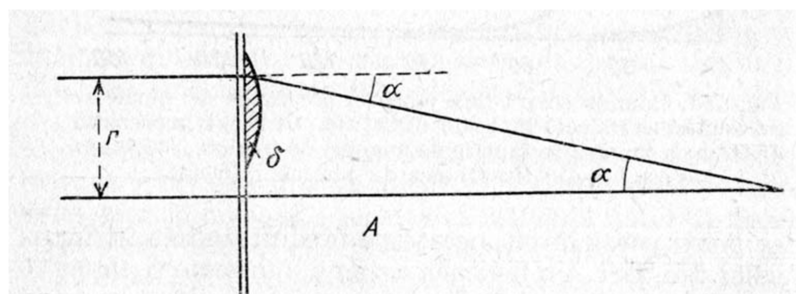


Fig. 161. Refracţia luminii într-o picătură de apă pe sticlă.

Veţi găsi că difuzia dispare practic la un unghi r/A = 0,05 pînă la 0,10 radiani, adică pentru 3—6°.

În realitate, picăturile care difuzează lumina nu sînt sferice, ci sînt segmente de sferă cu concavitate mică. Deviaţia cea mai puternică o suferă razele care ating marginile acestor picături. Ele sînt deviate ca de o prismă sub un unghi aproximativ egal cu α = (n—1) δ, unde δ este unghiul de refracţie, iar n— indicele de refracţie egal cu 1,33. Deoarece α este egal cu 3-6°, δ variază între 10 şi 20°.

206. Vizibilitatea particulelor care plutesc în aer[1]

Explicaţia dată mai sus pentru vizibilitatea picăturilor poate fi aplicată într-o măsură mai mare sau mai mică la orice particulă care pluteşte în aer. Norii de praf sau de fum se văd mai bine în direcţia Soarelui. Privind spre Soare, pe vreme frumoasă, vedem deseori o pîclă subţire de-a lungul orizontului, care se ridică deasupra acestuia cu aproximativ 3°; la o distanţă ce nu depăşeşte 1 km, culorile peisajului devin şterse; turnurile bisericilor îndepărtate nu se mai văd. Luna, cînd răsare seara, pare roşie strălucitoare, iar apoi devine uimitor de repede albă-gălbuie. Dacă ne uităm în partea opusă Soarelui, pîcla de-a lungul orizontului pare mai întunecată. Deosebirea dintre banda luminoasă de pîclă aproape de Soare şi banda întunecată în partea opusă Soarelui se vede foarte clar dacă, urcîndu-vă pe un munte sau înălţîndu-vă cu un balon, atingeţi marginea superioară a pîclei. Trecerea are loc aproximativ la 80° de Soare, unde strălucirea pielei este practic egală cu strălucirea cerului.

Stînd pe vreme de ceaţă uşoară în umbra unui coş, putem vedea Soarele înconjurat de o aureolă care nu se observă în lumina orbitoare a Soarelui. Uneori această aureolă are o margine roşie. Un efect asemănător, deşi mai slab, cauzat de praful şi picăturile infime de apă, poate fi văzut şi în absenţa ceţii (§ 217).

Roiurile de insecte care zboară în aer par ca nişte scînte. care dansează, dacă le privim în direcţia Soarelui; privite în direcţie opusă, ele sînt abia vizibile. Vîrfurile spicelor de secară ce se leagănă în razele Soarelui care apune, strălucesc într-o admirabilă lumină purpurie-aurie dacă le privim contra Soarelui. Frunzele uscate, pietrele, ramurile şi crengile strălucesc toate dacă le privim în direcţia Soarelui, dar sînt abia perceptibile din direcţie opusă.

Aceste observaţii confirmă constatarea că lumina este deviată la marginile unui ecran numai sub unghiuri mici. Aceasta este adevărat şi pentru reflexia, refracţia sau difracţia pe sfere mici, cu condiţia ca ele sa nu fie totuşi prea mici. Obiectele de formă neregulată dau naştere aproape la aceleaşi efecte ca şi ecranele şi sferele de mărime apropiată.

207. Lumina reflectorului[2]

Raza unui reflector ne permite să efectuăm noaptea o serie de observaţii interesante, înainte de toate trebuie să amintim că fasciculul de raze n-ar fi de loc vizibil, dacă nu ar exista în aer particule de praf şi picături de apă. Astfel, intensitatea de strălucire a razei este un criteriu al purităţii aerului.

[1] O. M. Byran, „Month. Weather Rev.", 4, 259, 1936.
[2] M. Minnaert, „Hemel en Dampkring", 29, 89, 1931.

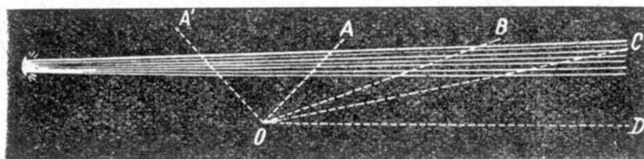


Fig. 162. Fasciculul de raze al unui reflector pare să se întrerupă brusc într-o anumită direcţie.

Pare uimitor că fasciculul se întrerupe atît de brusc, aşa cum se observă chiar şi atunci cînd este perfect senin şi cînd nu există nori care ar putea acţiona ca un „ecran". Explicaţia constă în aceea că observatorul în O vede lumina în direcţiile AO, BO, CO etc. de la toate punctele de-a lungul fasciculului. Dar oricît de lung ar fi fasciculul, observatorul nu poate vedea niciodată un punct pe el într-o direcţie dincolo de linia OD paralelă cu LC. Această direcţie reprezintă „capătul" fasciculului pentru observator şi fixează totodată direcţia fasciculului în spaţiu. Faptul că observatorul primeşte o mare cantitate de lumină de la partea îndepărtată a fasciculului trebuie atribuit înclinării sub care privirea interceptează, la aceste distanţe, fasciculul, adică, cu alte cuvinte, grosimii stratului de particule difuzante de-a lungul razei vizuale; pe de altă parte, în direcţia OA observatorul vede aerul iluminat numai pe o mică distanţă.

Staţi aproape de fascicul şi comparaţi intensitatea luminii în direcţiile de 45 şi 135°. Veţi găsi că difuzia, înainte, de-a lungul lui A'O, este mult mai intensă decît difuzia, înapoi, de-a lungul lui AO, deşi cantitatea de materie difuzantă de-a lungul razei vizuale este, în ambele cazuri, aceeaşi şi putem neglija deosebirea diametrclor fasciculului în A şi A'. Este evident că explicaţia trebuie căutată în asimetria difuziei pe particulele de praf: deoarece ele sînt relativ mari, difuzia trebuie să aibă loc în cea mai mare parte înainte (§ 189). O metodă mai comodă pentru astfel de observaţii constă în următoarele: ne aşezăm lîngă un far şi comparăm intensitatea fasciculului îndreptat aproximativ în direcţia noastră cu intensitatea fasciculului îndreptat dinspre noi în altă direcţie.

Cîteva experienţe de acest gen pot fi efectuate, dacă noaptea este suficient de întunecată, cu fasciculul de raze al unei lanterne de buzunar. Putem chiar să indicăm prietenilor o anumită stea, atît de clar se conturează „capătul" fasciculului[1].

208. Vizibilitatea[2]

Vizibilitatea se măsoară pe un loc deschis pe care putem alege o serie de puncte de reper clare la diferite distanţe de observator. Astfel de repere pot fi coşurile fabricilor, turnurile bisericilor din comunele îndepărtate, a căror distanţă poate fi determinată cu ajutorul unei hărţi bune. În fiecare zi, observatorul va nota punctul cel mai îndepărtat care mai este vizibil. Distanţa pînă la acest punct se numeşte „vizibilitate". Dacă numărul de puncte care sînt la dispoziţia observatorului nu este suficient, el poate aprecia vizibilitatea după impresia pe care i-o dă peisajul în ansamblu, stabilindu-şi o scară de la O la 10. Este clar că vizibilitatea este determinată de interacţiunea complexă a cîtorva factori şi, în particular, a picăturilor de apă şi a particulelor de praf din aer care, datorită difuziei luminii, produc iluminarea porţiunilor mai întunecate ale peisajului. Să presupunem că un anumit obiect reflectă lumina de intensitate A, aerul din faţa sa lumina de intensitate 5, iar acrul din spatele său pe cea de intensitate C. Să presupunem, în afară de aceasta, că, în urma absorbţiei în aer, în ochiul nostru ajung, în loc de A, B şi C, intensităţile a, 6, c. Vizibilitatea obiectului îndepărtat este determinată atunci de raportul (a+ b)/(b+c) ; de acest raport depinde, conform definiţiei de mai înainte şi vizibilitatea generală. Aceasta explică de ce vizibilitatea este determinată nu numai de condiţiile atmosferice, ci, într-un anumit grad, ea depinde şi de poziţia Soarelui. Pentru a reduce influenta Soarelui la minimum, s-a convenit să se aleagă ca puncte de reper obiectele întunecate care se proiectează pe cer la o înălţime de cel puţin 0,5° şi cel mult de 5° şi care au dimensiuni unghiulare de la 0,3 pînă la 1°. Ochiul observatorului trebuie să fie cît mai bine ferit de lumina din jur. În acest scop, trebuie fie să acoperim ochii cu palmă, fie să folosim o apărătoare oarecare căptuşită în interior cu un material negru. Este interesant că în aceste condiţii, vizibilitatea nu depinde, practic, de poziţia Soarelui şi de obiectul care a fost ales ca punct de reper; nici culoarea nu are o importanţă prea mare, deoarece obiectele îndepărtate devin totdeauna

---

[1] Davis, „Science", 76, 274, 1933.

[2] W. E. Knowles Middleton, Visibility în Meteorology, Toronto, 1941; Sebastian, „Beitr. z. Geophys.", 45, 35, 1935. F r. Lehle, Sichtbeobachtungen, Berlin, 1941. Toate lucrările citate mai sus au o bibliografie bogată.

cenuşii înainte de a dispare în pîcla care difuzează lumina.

Vizibilitatea aceloraşi obiecte noaptea este mult mai proastă decît ziua. La Lună plină, ea este de aproximativ 5 ori mai mică decît la lumina zilei.

Noaptea ne putem orienta după felinare situate la distanţe cunoscute sau putem determina înălţimea minimă (în grade) la care devine vizibilă o stea de mărimea întîi. Desigur, aceste determinări nu coincid perfect cu cele făcute ziua, deoarece se măsoară, strict vorbind, mărimi diferite.

Astfel de observaţii au fost efectuate şi rezultatele obţinute au fost prelucrate statistic de o mulţime de observatori. Factorul principal care determină vizibilitatea este, fără îndoială, cantitatea de praf ridicată de vînt: în jurul particulelor de praf se condensează umezeala şi picăturile care se formează astfel difuzează lumina. De aici este clar că o influenţă mare o au şi cantitatea de praf, şi umiditatea aerului. Vizibilitatea este optimă pe vreme însorită cînd ne aflăm într-un maxim „cuneiform" (astfel arată el pe hărţile meteorologice între două depresiuni) al presiunii atmosferice, care ne aduce „aer polar" proaspăt ce conţine foarte puţin praf. O astfel de vreme ţine de obicei foarte puţin. Pe de altă parte, vizibilitatea se înrăutăţeşte cînd regiunile de presiune ridicată rămîn un timp îndelungat în acelaşi loc, deoarece praful coboară treptat în straturile inferioare ale aerului. Pentru cine stă pe malul mării este interesant de comparat vizibilitatea cînd briza adie dinspre mare cu vizibilitatea cînd vîntul bate spre larg. Acest lucru însă trebuie făcut în aceleaşi condiţii de umiditate, controlate cu ajutorul unui psihrometru.

Într-un mic orăşel din Scoţia vizibilitatea a fost de şase pînă la nouă ori mai bună atunci cînd vîntul bătea dinspre munţi, decît atunci cînd bătea dinspre regiuni dens populate. O dovadă clară a influenţei umidităţii este faptul că vizibilitatea era de patru ori mai mare atunci cînd diferenţa psihrometrică era de 8°, decît atunci cînd ea era de 2°. Putem să ne facem o imagine clară asupra întregului tablou trasînd pe o hartă drepte în direcţia de unde vine vîntul şi reprezentînd lungimile dreptelor respective proporţional cu distanţa de vizibilitate. Aceasta trebuie făcut pentru diferite valori ale umidităţii. Astfel se obţin o serie de curbe care reprezintă transparenţa medie a aerului în funcţie de diverşi factori.

Statistica mai arată că vizibilitatea se ameliorează pe timp de vînt puternic, îndeosebi în lunile de vară (din martie pînă în octombrie), mai puţin iarna. În general, vizibilitatea este mai bună după-amiază decît dimineaţa, deoarece în timpul zilei, curenţii ascendenţi transportă praful din straturile inferioare ale atmosferei în cele superioare. După perioade îndelungate de ploaie sau ninsori, praful se depune aproape complet şi vizibilitatea este adeseori foarte bună.

Efectuaţi observaţii asupra vizibilităţii cu ajutorul unei sticle roşii, atunci cînd zările sînt învăluite într-o pîclă albastră. Veţi vedea oare amănunte pe care nu le-aţi observat în lumina albă ('§ 195)?

Este interesant că prin şiroaiele de ploaie se poate vedea mult mai departe decît prin norii care produc ploaia. Cauza rezultă clar din cele ce urmează (raţionamentul este, desigur, neriguros):

Fie V un volum de apa în unitatea de volum de aer şi sa presupunem că V este împărţit în picături de diametrul d, deci de volum aproximativ d^3. Numărul de picături va fi V/d^3 şi deoarece fiecare picătură ecranează o arie de aproximativ d^2, aria ecranată de toate picăturile va fi $Vd^2/d^3 = V/d$. Astfel, cu cît picăturile sînt mai mici, cu atît este mai puţin transparentă îngrămădirea lor. Într-o ceaţă densă $V \approx 10^{-6}$; într-o ploaie torenţială, această mărime este aproximativ aceeaşi (lucru foarte curios!), însă picăturile de ceaţă au un diametru de ordinul a 0,01 mm, iar picăturile de ploaie 0,5 mm. Să considerăm acum o coloană cu secţiunea transversală de 1 cm? şi lungimea L Pentru a reţine aproximativ jumătate din lumină trebuie să avem Vl/d = 0,5, adică pentru ceaţă l = 10 m, iar pentru ploaie 250 m. Acesta este ordinul de mărime corect. Din exemplul dat se vede clar cît de mult depinde rezultatul de mărimea picăturilor de apă. Uneori, în timpul unei ploi torenţiale, cînd picăturile, lovindu-se de pămînt, se împrăştie în picături mult mai mici, iar noi privim prin ele aproape de sol, vizibilitatea se micşorează treptat. Aceasta confirmare asemenea, justeţea raţionamentului nostru.

209. Cum „bea apă" Soarele

„Astfel porniră amîndoi spre Soarele care apune
Şi se ascunde în norii cei prevestitori de furtună,
Iese din neguri ici-colo, ca suliţi de raze arzătoare,
Zarea împînzind-o într-o lumină plină de taină".
(Goethe, Hermann şi Dorothea, cîntul VIII)

E o dimineaţă minunată de toamnă; lumina strălucitoare a Soarelui pătrunde prin frunzişul copacilor. La o oarecare distanţă vedem în atmosfera ceţoasă fascicule sclipitoare de raze paralele. Dacă ne apropiem, razele nu mai par paralele, ci parcă pornesc dintr-un singur punct — Soarele.

Acest fenomen ne este cunoscut şi la scară mai mare. Cînd Soarele stă ascuns după nori grei,

iar aerul este plin de o ceață ușoară, vedem deseori razele solare trecînd prin luminișurile din nori, croindu-și drum prin ceață, datorită difuziei pe picăturile din care-i compusă ceața. Toate aceste raze sînt în realitate paralele (prelungirea lor trebuie să treacă prin Soare, însă el este atît de departe de noi, încît putem să le considerăm „paralele"). Perspectiva creează impresia că ele diverg dintr-un singur punct — din Soare —, tot așa cum liniile de cale ferată par să se unească în depărtare (fotografia XI II). Remarcați că razele pornesc de la norii care aruncă umbră; între Soare și nori nu se văd razele.

În funcție de deplasările norilor, aceste raze devin mai intense sau mai slabe, se deplasează dintr-un loc într-altul etc. Uneori întregul peisaj este plin de ele; alteori, dimpotrivă Soarele stă ascuns după un nor care aruncă o umbră întunecată. Astfel de fîșii de umbră se văd deseori în regiunile de munte, unde ele sînt aruncate de stînci sau de vîrfurile munților cînd Soarele este aproape de orizont.

Fasciculele de lumină pot apare și de la Lună, însă ele au o intensitate atît de mică, încît sînt vizibile numai dacă difuzia în atmosferă este intensă. Acest fenomen foarte rar, creează o atmosferă deprimantă.

De ce în Germania acest fenomen este poreclit: „Soarele bea apă"? Poate că la originea expresiei stă ideea că apa se ridică de-a lungul razelor spre Soare ca de-a lungul unui canal?

În Olanda se spune: „Soarele stă pe picioare". Această expresie se folosește atunci cînd Soarele se află la zenit și fasciculele de raze luminoase cad vertical în jos. Englezii numesc acest fenomen „Scara lui Iacob" sau „Scara îngerilor".

De ce fasciculele de raze se văd numai la distanțe mici de Soare și apar atît de rar la distanța de 90°, de exemplu? (vezi §§196,199).

210. Culorile crepusculului[1]

Oamenii își imaginează de obicei apusul în decorul unor nori purpurii-aurii care strălucesc în lumini calde, profunde. Ei încearcă, cu o încîntare de copil, să găsească în nori trăsăturile unei cămile sau ale unui leu, un castel strălucitor sau o mare fantastică de flăcări. Fizicianul însă se străduiește să înceapă observațiile apusului în forma sa cea mai simplă și preferă cerul complet senin, fără nori. El studiază succesiunea minunată de culori, nuanțele gingașe care se schimbă rapid, trecerile de la albastrul zilei la profunzimea întunecată a nopții, care sînt observabile numai după o anumită practică dar care se repetă mereu, aproape în aceeași ordine, creînd marea dramă a Naturii — drama Soarelui care apune.

Cum se explică această senzație de repaus infinit, creată de aceste fenomene luminoase? Comparați-le cu curcubeul care produce o impresie de voioșie și bună dispoziție. Crepusculul provoacă această senzație datorită arcurilor de culori largi care se contopesc și care se întind pe întregul cer ca și cum ar fi orizontale. O linie orizontală, oriunde ar apărea ea în arhitectura peisajului, sugerează repausul și liniștea.

Studiul serios al luminii crepusculare ne dă informații despre condițiile existente în straturile superioare ale atmosferei, cu mult deasupra regiunii de formare a norilor. Lunile cele mai potrivite pentru începerea acestui studiu sînt cele de la începutul toamnei. Caracterul fenomenului se schimbă de la o zi la alta. Culorile sînt deseori modificate de praf și ceață, în special de fumul orașelor. De aceea, observațiile trebuie repetate de nenumărate ori.

Pentru a vedea bine lumina crepusculară, ochiul trebuie să fie perfect odihnit. Oricît de scurtă ar fi privirea pe care o aruncăm asupra Soarelui înaintea apusului, vom fi atît de orbiți, încît un anumit timp nu vom putea continua în mod satisfăcător observațiile. Cînd ne propunem să observăm partea de răsărit a cerului, nu trebuie să privim prea mult cerul foarte strălucitor din apus. De fiecare dată cînd ochii noștri se odihnesc un anumit timp, în cameră sau privind o carte, ne dăm seama cu cît mai bogat în culori este amurgul și cu cît mai departe se întinde el în comparație cu impresia noastră din primul moment. Sfatul meu este următorul: urmăriți la început evoluția crepusculului în ansamblu, iar apoi studiați frumusețea fiecărei părți a cerului în parte. Comparați între ele diferite regiuni ale cerului cu ajutorul unei oglinzi mici, ținînd-o în mîna întinsă și proiectînd pe porțiunea considerată a cerului o porțiune care se află în altă direcție.

Este posibil sa întîmpinați dificultăți în observarea formei fenomenelor colorate, care trec atît de lin una în cealaltă. Secretul este însă foarte simplu. Trebuie să trasăm în gînd pe tot cerul liniile de egală strălucire său de egală culoare; acestea sînt liniile indicate întotdeauna în descrieri, de exemplu atunci cînd se spune că lumina crepusculară se dezvoltă, de obicei, sub forma de arcuri colorate.

Dăm mai departe descrierea unui apus de Soare tipic pentru o seară senină (fig. 163). Semnul minus la înălțimea Soarelui înseamnă adîncimea sa sub orizont.

[1] O bibliografie foarte bogată se găsește la P. Gruner, H. Kleinert, Die Daămmerungserscheinungen, Hamburg, 1917,

înălţimea Soarelui 5°; jumătate de oră înainte de apus. Culoarea cerului aproape de orizont se transformă într-un galben sau galben-roşu cald, care diferă mult de culoarea albă-albastră obişnuită a zilei.

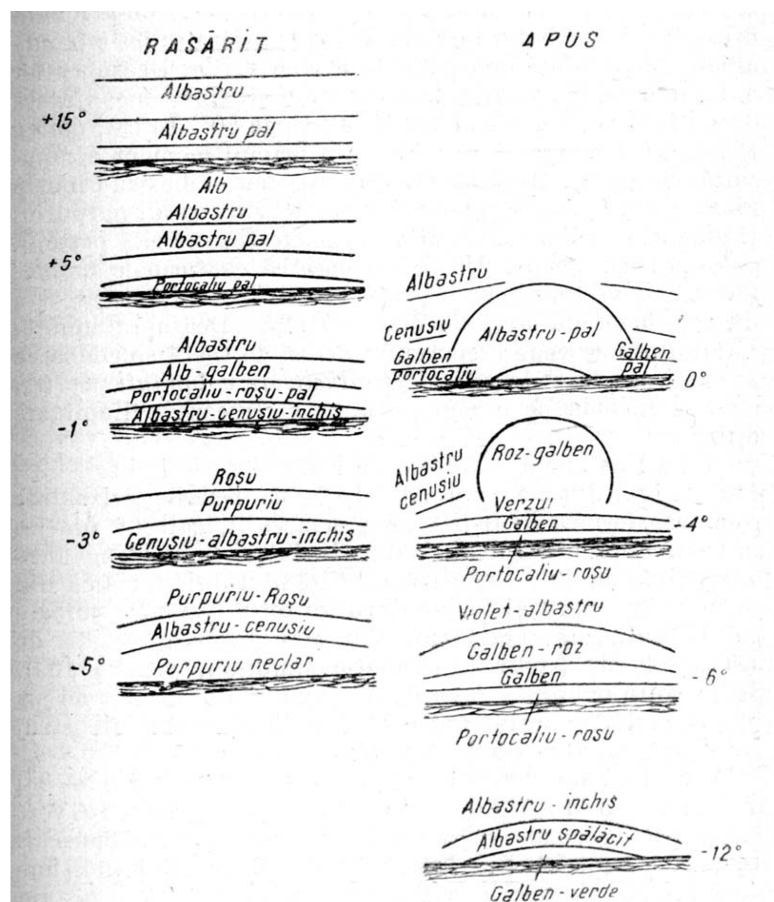


Fig. 163. Culorile cerului în timpul unui apus de soare într-o zi senină. Cifrele de la margine indică înălţimea Soarelui deasupra orizontului.

Benzile orizontale sub Soare se disting cu greu ca o fişie gălbuie lungă (prin „benzi" înţelegem numai faptul că liniile de aceeaşi culoare sînt orizontale, fără ca ele să aibă margini net conturate). Deasupra lor se întinde concentric în jurul Soarelui o pată de luminămare, albicioasă, mărginită deseori de un inel brun abia vizibil.

Dacă la orizontul din răsărit sînt nori albi, ei au o culoare roşie, iar deasupra lor pe cer apare partea superioară a crepusculului de est: o bordură colorată, înaltă de 6—12°, cu treceri spre portocaliu, galben, verde şi albastru.

Înălţimea Soarelui 0°, apusul. Să nu va închipuiţi că fenomenele de crepuscul se termină! Partea cea mai interesantă abia începe. În vest, de-a lungul orizontului, se observă o fişie de benzi colorate: jos o bandă albă-galbenă, apoi una galbenă şi una verde. Deasupra lor o lumină strălucitoare, transparentă şi albă, înconjurată de un inel brun, a cărui înălţime atinge 50°. În est, umbra Pămîntului începe să se ridice din primul moment al apusului de Soare. Aceasta este un segment albastru-cenuşiu foarte plat, care se deplasează treptat prin stratul purpuriu. De regulă, umbra Pămîntului nu poate fi urmărită peste 6° deasupra orizontului. Uneori se pare că contururile umbrei terestre se văd mult înainte de apusul Soarelui, însă aceasta nu este decît un strat de praf şi ceaţă. Deasupra umbrei Pămîntului se vede crepusculul de est în toată splendoarea sa. Mai sus se vede reflexia strălucitoare a luminii de vest care se întinde pe o regiune mare şi creează o iluminare difuză.

Înălţimea Soarelui de la — 1 la — 2°; 10 min după apus. În vest, benzile orizontale s-au transformat în fişii brune, portocalii, galbene (de jos în sus). Lumina strălucitoare cu inelul ei brun atinge încă o înălţime de 40°. În est, umbra Pămîntului se ridică din ce în ce mai mult şi în interiorul ei totul capătă o culoare palidă uniformă, mai mult sau mai puţin apropiată de albastru-verde (contrast cromatic simultan, vezi § 109). Se dezvoltă marginea colorată a crepusculului de est: de jos în sus violet, carmin, portocaliu, galben, verde, albastru, iar deasupra, reflexia strălucitoare.

Înălţimea Soarelui de la— 2 la— 3°; de la 15 la 20 min după apus. În vest începe partea cea

mai interesantă a fenomenelor de crepuscul. În partea superioară a luminii strălucitoare, la o înălțime de circa 25° deasupra orizontului, apare o pată roză. Ea creşte repede şi totodată centrul ei vizibil se deplasează în jos, astfel încît ea se transformă într-un segment care devine din ce în ce mai plat. Această lumină purpurie radiază minunate culori calde, transparente, mai mult roz-gălbui decît propriu-zis purpurii. Culorile benzilor orizontale devin din ce în ce mai pale. În est, umbra Pămîntului s-a ridicat şi mai sus. Partea superioară a crepusculului de est atinge dezvoltarea sa maximă. Deasupra ei se vede reflexia strălucitoare.

Înalţimea Soarelui de la—3 la— 4°; de la 20 pînă la 30 min după apus. În vest, lumina strălucitoare este la o înălțime de 5 pînă la 10°. Lumina purpurie este mai intens dezvoltată; strălucirea este cea mai intensă la înălțimea de 15 pînă la 20° deasupra orizontului; marginea superioară este aproximativ la înălțimea de 40°.

Înălţimea Soarelui de la—4 la— 5°; de la 3 O la 35 min după apus. În vest, lumina purpurie atinge dezvoltarea maximă. Faţadele dinspre apus ale clădirilor sînt inundate de o lumină purpurie: pămîntul şi trunchiurile copacilor (în special ai mestecenilor) sînt colorate în tonuri calde. În oraşe, pe străzile înguste unde nu se vede orizontul din vest, iluminarea generală a caselor indică clar lumina purpurie. Fiţi prudenţi şi nu vă uitaţi prea mult timp la partea de apus a cerului! Rămîneţi cît mai mult timp în interiorul camerei, ieşiţi numai special pentru observaţiii în est, la umbra pămîntului apare uneori o margine palidă de culoarea cărnii — partea inferioară a crepusculului de est. Apariţiă ei se explică prin aceea că în locul luminii directe a Soarelui, porţiunea de est a cerului este iluminată de lumina purpurie a apusului. Această margine se vede rar în climatul nostru. Devin vizibile stelele de mărimea întîi.

Înălţimea Soarelui de la— 5 la— 6°; de la 35 la 40 min după apus. În vest, lumina strălucitoare a dispărut. Lumina purpurie începe să slăbească, contopindu-se probabil cu benzile orizontale care devin mai strălucitoare şi se colorează în portocaliu. În est, marginea umbrei pămînteşti este complet difuză. Dacă se vede partea inferioară a crepusculului de est, în momentul dispariţiei luminii purpurii se poate observa o umbră secundară slabă a Pămîntului.

Înălţimea Soarelui de la —6 la — 7°; de la 45 la 60 min după apus. În vest, lumina purpurie a dispărut, rămînînd o lumină albă-albăs-truie — a doua lumină a crepusculului, care atinge o înălţime de la 15 pînă la 20°. Benzile orizontale devin succesiv portocalii, galbene şi verzi. Dispariţia luminii purpurii creează impresia unei scăderi bruşte a iluminării. Devine greu de citit, s-a terminat „crepusculul civil".

Înălţimea Soarelui — 9°. În vest, lumina crepusculară este la o înălţime de 7 pînă la 10°; în est, partea inferioară a luminii crepusculare de est a dispărut, mai rămîne doar o reflexie foarte slabă. Punctul cel mai întunecat pe cer este aproape de zenit, ceva mai la vest de acesta.

Înălţimea Soarelui — 12°. În vest, benzile orizontale au slăbit mult şi au devenit verzi-pale. Lumina albastră-verde atinge o înălţime de 6°.

Înălţimea Soarelui— 15°. În vest, lumina crepusculară este la o înălţime de 3 pînă la 4°.

Înălţimea Soarelui — 17°. În vest, lumina crepusculară a dispărut. Au devenit vizibile stelele de mărimea a cincea. Acest moment se determină foarte precis; el se schimbă în funcţie de anotimp şi de la o zi la alta. Sfîrşitul „crepusculului astronomic".

Observaţii privind lumina purpurie. Intensitatea luminii purpurii variază apreciabil de la o zi la alta. Prezenţa unui văl foarte subţire de nori la mare înălţime poate mari mult intensitatea sa, iar atunci cînd vremea se înseninează după ploi îndelungate, lumina purpurie devine deosebit de frumoasă. De obicei, vara tîrziu sau toamna ea este mai puternică decît primăvara sau vara. Lumina purpurie este foarte slab polarizată, în timp ce în partea înconjurătoare a cerului, polarizarea este destul de intensă. Experienţa cu petele lui Haidinger este suficientă pentru a remarca această deosebire (§ 200).

Evoluţia luminii purpurii în amurg nu coincide totdeauna cu descrierea noastră. Ea poate să apară într-unul din modurile următoare:

1. Din marginea brună care înconjură lumina strălucitoare.
2. Din însăşi lumina strălucitoare care se transformă din galben în roz şi purpuriu.
3. Din lumina crepusculară de est care este practic invizibilă aproape de zenit şi devine din nou vizibilă cînd trece în partea de vest a cerului.
4. Din nori cirrus, iluminaţi de Soare după ce apune.
5. Din petele purpurii care se formează la marginea de sus a luminii strălucitoare şi care se împrăştie de aici treptat. Acesta este tipul descris în cartea noastră, el apare destul de rar.

„Nu lăsaţi su va scape niciodată un apus său un răsărit do Soare".
(Ruskin, Modern painters).

211. Măsurarea fenomenelor de crepuscul

Umbra Pămîntului poate fi măsurată uşor (vezi § 265). Reprezentaţi înălţimea ei în funcţie de timp. La început, umbra Pămîntului creşte aproximativ cu aceeaşi viteză cu care Soarele se lasă în jos, iar după aceea, de două şi chiar de trei ori mai repede[1], înălţimea deasupra orizontului la care umbra Pămîntului încetează de a mai fi observabilă ne dă o imagine despre puritatea aerului. Ea este foarte sensibilă chiar la cele mai neînsemnate urme de impurităţi. Cu cît sînt mai multe particule de praf în atmosferă, cu atît umbra devine mai repede invizibilă.

Umbra Pămîntului poate fi fotografiată uşor pe un film pancromatic cu un filtru galben (expunerea circa l s). Pe fotografie se pot face însemnările necesare pentru măsurători şi observaţii.

Fig. 164. Tabelă schematică indicînd dezvoltarea diferitelor fenomene de crepuscul. Pe figură: benzile orizontale; lumina strălucitoare; lumina purpurie; lumina de amurg; lumina crepusculară de est; umbra Pămîntului; reflexia strălucitoare.

Măsurarea luminii strălucitoare şi a luminii purpurii este mai complicată. În afară de faptul că din timp în timp ochiul trebuie să se odihnească, trebuie să mai avem în vedere că fiecare siluetă întunecată pe fondul cerului provoacă un fenomen de contrast care trebuie evitat. Este uimitor cum se schimbă linia pe care o considerăm ca marginea luminii purpurii dacă ţinem în faţa noastră un creion sau o tăbliţă de lemn. Metoda cea mai bună constă în compararea înălţimii cu cea a unor copaci sau turnuri.

Menţionăm că măsurătorile de strălucire au arătat că lumina purpurie nu este produsă de o creştere a strălucirii, ci de o uşoară micşorare a ei într-o anumită parte a cerului în comparaţie cu părţile din jur. Astfel apare un maximum al strălucirii relative şi acesta produce aici impresia vizuală de radiaţie suplimentară. Tot astfel, modificarea culorii trebuie atribuită unei scăderi uşoare a intensităţii pentru anumite lungimi de undă.

După ce se stinge lumina purpurie este interesant de urmărit mişcarea luminii crepusculare secundare. Marginea sa superioară este stadiul ultim al umbrei terestre care a trecut de zenit şi se apropie acum de orizont la vest. Ea coboară la început repede, apoi din ce în ce mai încet.

212. Razele crepusculare[2]

Fenomenele de crepuscul sînt deosebit de frumoase atunci cînd norii, care coboară după orizontul de vest, aruncă benzi de umbră pe tot cerul ca un evantai uriaş. Aceste benzi pornesc dintr-un punct imaginar situat sub orizont, unde se află Soarele, la fel ca razele solare care „beau apă" (§ 209); însă de data aceasta, cerul este perfect senin şi vedem cum razele întunecate se conturează net pe fondul luminii purpurii; culoarea lor albastră-verde creează un contrast puternic, amplificat şi mai mult de contrastul cromatic simultan. Razele crepusculare arată cum ar fi cerul dacă ar lipsi difuzia purpurie. Datorită razelor crepusculare, observăm pentru prima dată cît de departe se întinde lumina purpurie. Ele

[1] O explicaţie teoretică a vitezei de înălţare a umbrei Pămîntului se găseşte în lucrarea lui Pernter-Exner, Meteorologische Optik (Wien Leipzig, 1922). Vezi, de asemenea, V. G. Fesenkov „Astr. jurn.", 23, 171, 1946; **26,** 233, 1949.

[2] Smosarski, „G.R. Paris", 219, 491, 1944.

pot fi observate nu numai în vest, unde Soarele apune, dar uneori şi pe cerul din est, pe fondul purpuriu al luminii crepusculare de est, unde ele converg în punctul antisolar. De aceea, de fiecare dată cînd cercetaţi razele crepusculare, observaţi şi partea răsăriteană a cerului.

Observaţiile meticuloase arată că razele de crepuscul din est şi din vest corespund exact două cîte două, fiind de fapt aceleaşi raze care înconjură întreaga sferă cerească, însă la care se văd mai bine capetele. Uneori reuşim chiar să urmărim aceste benzi, care seamănă cu nişte arcuri uriaşe, pe întreaga lor întindere. Benzile sînt în realitate paralele; forma lor de arc este rezultatul unei iluzii optice (§ 123). Razele crepusculare se văd numai în cazul cînd în aer se află particule difuzante. În cazul razelor solare care „beau apă", ele se conturează în ceaţa uşoară, iar în cazul luminii purpurii, ele apar pe particulele de praf mai fine care produc acest fenomen de crepuscul. În amurg, cînd nu există lumina purpurie, razele de crepuscul lipsesc; ele nu apar niciodată pe fondul părţilor verzui ale cerului. Pe de altă parte, ele pot rămîne vizibile rnult timp după ce lumina purpurie se contopeşte cu benzile orizontale; aceasta dovedeşte într-adevăr, că lumina purpurie există întotdeauna şi dă o parte esenţială din lumina cerului, la apus.

Razele de crepuscul pot fi văzute mai uşor lîngă punctul lor de dispariţie decît în direcţia perpendiculară, deoarece în regiunile de răsărit şi de apus ale cerului noi privim printr-un strat mai gros. Aceasta rezultă, de asemenea, din legeă difuziei luminii (vezi § 189).

Putem evalua cît de departe se află de noi norul care aruncă umbra. Dacă norul se află aproape de Pămînt, el creează razele de crepuscul în momentul cînd razele solare sînt tangente la suprafaţa Pămîntului. Dacă razele de crepuscul devin vizibile cînd Soarele coboară cu unghiul a sub orizont, distanţa dintre nori şi ochiul nostru va fi αR (R este raza Pămîntului). Dacă însă norul ocupă poziţia W la înălţimea h, distanţa sa pînă la observatorul O, aşa cum se vede pe fig. 165, poate avea orice valoare între (α — β)R şi (α + β)R, în conformitate cu poziţia Soarelui între Z_1 şi Z_2. Aici cos β = R/R+h sau aproximativ β = sqrt (2h/R)

Să presupunem că o rază de crepuscul a fost observată în prima jumătate de oră după apusul Soarelui, adică atunci cînd α = 4°. Pentru tipurile de nori care formează acest fenomen se poate considera, cu certitudine, că înălţimea lor nu depăşeşte 5 km, adică β poate fi cel mult 1/25 radiani (sau aproximativ 2, 3°). Pentru această valoare a lui β, (α — β) şi (α + β) vor fi respectiv 1,7° şi 6,3°. Distanţa pînă la nor poate avea, aşadar, orice valoare între 190 şi 700 km. Acest rezultat explică de ce vedem uneori raze crepusculare chiar dacă pe cer nu e nici un nor.

213. Explicarea fenomenelor de crepuscul (fig. 166)

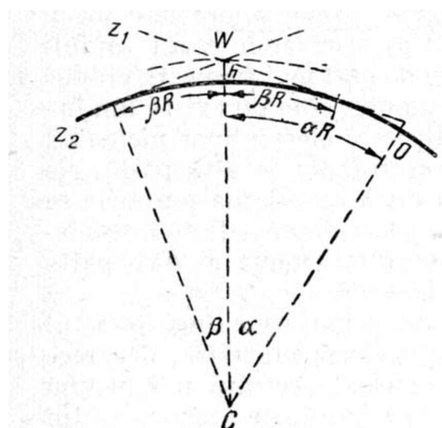


Fig. 165. Cum evaluăm distanţa pînă la norul care produce razele crepusculare.

Să urmărim în gînd drumul razelor solare cînd Soarele este aproape de orizont. Razele parcurg o distanţă mare prin atmosferă şi culoarea lor devine din ce în ce mai roşie, deoarece moleculele de aer difuzează culoarea violetă, albastră şi verde. De aici provine culoarea roşie-arămie a Soarelui care apune. După ce Soarele se ascunde după orizont, razele sale continuă să ilumineze aerul deasupra noastră. Straturile inferioare sînt mai dense şi difuzează lumina mai puternic; cele superioare sînt din ce în ce mai rarefiate şi difuzează din ce în ce mai slab.

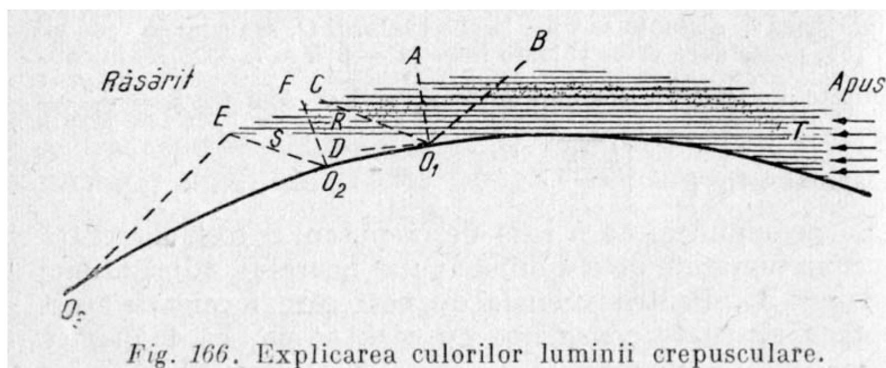


Fig. 166. Explicarea culorilor luminii crepusculare.

Dacă ne aflăm în 0_1 şi privim în sus de-a lungul lui O_1A, stratul de aer nu este prea gros şi, în afară de aceasta, moleculele difuzează relativ slab sub un unghi de 90°. De aceea, în apropierea orizontului, cerul va fi întunecat. Pe de altă parte, de-a lungul lui O_1B şi 0_1C, privirea parcurge un drum lung prin straturile iluminate şi ochiul va primi o mare cantitate din lumina difuzată. Lumina care vine din B va fi mai intensă, deoarece în afară de lumina care este difuzată de moleculele de aer, de aici vin şi razele care sînt difuzate sub unghiuri mici de către picăturile mici de apă şi de către particulele mai mari de praf. Aceasta este explicaţia originii benzilor orizontale, a căror orientare corespunde cu distribuţia „în pături" a particulelor mari. În acelaşi fel se explică lumina crepusculară de est în direcţia O_1C şi schimbarea culorilor sale de la albastru în roşu, trecînd prin verde şi galben: dacă înclinăm treptat privirea, ea ajunge pînă la straturile care sînt atît de dense şi atît de întinse, încît permit să treacă numai lumina roşie, înţelegem, de asemenea, de ce aceste culori sînt mai saturate cînd razele solare trec pe un drum mai lung de-a lungul lui F decît atunci cînd razele ar ilumina numai clădirile din jurul observatorului O_1. Şi mai jos, de-a lungul lui 0_1D, privirea noastră întîlneşte umbra Pămîntului, astfel încît noi nici n-am primi lumină din D, dacă obiectele aflate în această direcţie nu ar fi iluminate de lumina difuză slabă a întregului cer, care şterge toate contrastele. După un anumit timp ajungem în 0_2. Deoarece aici privim spre razele solare sub un unghi mai mare, planul care separă partea iluminată a atmosferei de cea neiluminată nu se vede şi, prin urmare, nu se vede nici marginea roşie a luminii crepusculare de est. Cantitatea de lumină care vine din E este insuficientă, iar raza mai înclinată din F conţine în cantităţi egale culorile: albastru, galben şi roşu. Datorită acestui fapt, marginea părţii iluminate a atmosferei devine din ce în ce mai difuză şi mai neclară.

Şi mai tîrziu, înclinarea păturilor iluminate ale atmosferei devine atît de abruptă, încît nu mai vedem culoarea roşie a cerului din vest. Trebuie sa ne închipuim că observatorul nostru se află în acest timp în 0_3. Marginea atmosferei iluminate E, care la început apărea pe cerul din est ca marginea umbrei terestre, urcă din ce în ce mai sus, trece prin zenit (deşi nu vedem acest lucru) şi, deoarece direcţia privirii noastre formează din nou un unghi mic cu planul care separă părţile iluminate şi neiluminate ale atmosferei, apare acum în vest. În afară de aceasta, intervine din nou difuzia sub unghiuri mici şi iluminarea totală a peisajului scade atît de brusc, încît chiar şi o strălucire neînsemnată impresionează ochiul. Tocmai de aceea considerăm E ca limita superioară a luminii crepusculare.

Astfel, la prima vedere, toate fenomenele crepusculare pot fi explicate în mod satisfăcător pe baza legilor simple ale difuziei luminii. Totuşi, la un studiu mai atent, reiese că aici joacă un rol important şi anumiţi factori suplimentari.

Recent a fost făcută o descoperire remarcabilă[1], care a dus la concluzia că umbra terestră îşi datorează culoarea violetă în special ozonului — un gaz care se află la mare înălţime în atmosferă, întimpul crepusculului, razele parcurg un drum atît de lung, încît culoarea violetă a ozonului devine observabilă.

Rămîne, în sfîrşit, să explicăm lumina purpurie. Ea poate fi explicată numai în ipoteza că la o înălţime de 15 pînă la 25 km există un strat S T de praf foarte fin (fig. 166). Fasciculul de raze luminoase, datorită căruia noi vedem acest strat iluminat, vine de la Soare cînd acesta este deja sub orizont. Partea inferioară a fasciculului are o culoare roşie intensă, deoarece razele parcurg un drum lung în păturile dense ale aerului. Astfel, cea mai mare parte a luminii purpurii se datoreşte porţiunii S R a stratului. Este remarcabil că difuzia în SR se vede numai din 0_3, însă nu şi din O_l (de unde ea ar trebui să se observe în est). De aici putem trage concluzia că particulele difuzante sînt mult mai mari decît moleculele de aer şi difuzează în special înainte (vezi § 189). De fiecare dată cînd observăm seara apariţia luminii purpurii, o putem considera ca un indiciu al faptului că ne aflăm în fasciculul de raze difuzate de stratul de praf înainte.

Iarna, asimetria luminii purpurii este deosebit de pronunţată dacă cerul este suficient de senin.

---

[1] J. Dubois, „G.R. Paris", 222, 671, 1946; 226, 1180, 1948.

Porțiunile cele mai ridicate ale zonei luminoase sînt deplasate spre sud, iar marginea sudică este mai net conturată decît cea nordică. Aceasta se observă atît dimineața, cît şi seara. Asimetrii de acest gen observăm şi în lumina zodiacală (§ 223). Unii trag de aici concluzia că atmosfera noastră se ridică Ia o înălțime mai mare în planul orbitei Pămîntului şi că această pătură de aer în jurul Pămîntului determină prin difuzie culoarea purpurie a cerului. Această teorie încă nu a fost dezvoltată complet.

214. Există deosebiri între zori şi amurg?

Chiar dacă există, ele sînt atît de mici, încît nu pot fi observate nici un fel de deosebiri tipice reale. Este important totuşi de menționat că dimineața, ochiul este complet odihnit; în afară de aceasta, dimineața se observă creşterea treptată a intensității luminii. Prin urmare, în timpul zorilor, ochiul este mai sensibil. Totuşi, apusul de Soare este, în general, mai bogat în culori, datorită umidității mai mari, precum şi faptului că seara, din cauza turbulenței mai mari, aerul conține mai multe particule de praf decît dimineața.

215. Variația iluminării în timpul amurgului

Ştim deja cît de pronunțată este micşorarea intensității luminii la trecerea de la zi la noapte. Dăm mai jos din nou datele în legătură cu iluminarea unui plan orizontal la diferite înălțimi ale Soarelui.

Înălțimea Soarelui									
0°	—1°	—2°	—3°	—4°	—5°	—6°	—8°	—11°	—17°
Iluminarea în Lx									
400	250	115	40	14	4	1	0,1	0,01	0,001

O dată cu modificarea iluminării, variază nu numai întregul peisaj, dar şi starea observatorului, deoarece vederea sa se adaptează de la conuri la bastonaşe.

Tabelul următor ne dă o idee despre aceste modificări.

Înălțimea Soarelui
Norii roz dispar la zenit .... —3,6°
Lumina cenuşie a Lunii devine observabilă ...... —7°
Nu se poate citi un text scris cu creionul .... —7,6°
O hîrtie roşie pare neagră .... —7,6°
O hîrtie albastră pare cenuşie .... —8,3°
O hîrtie galbenă pare cenuşie .... —9,7°
Calea Lactee devine vizibilă la zenit .... —11,7°

După cum vedeți, amurgul poate fi folosit cu succes pentru observații la cele mai diferite grade de strălucire şi pentru compararea între ele a unor fenomene luminoase slabe.

216. „Întunericul este cel mai adînc înainte de zori"

Denning, cunoscutul cercetător al meteorilor, crede în justețea acestui dicton englez, înainte de zori, el are impresia că obiectele care pînă atunci i se păreau perfect vizibile dispar la un moment dat.

Măsurătorile de iluminare au arătat într-adevăr modificări neregulate în timp ale luminozității cerului de noapte, însă ele sînt prea variabile şi prea mici pentru a avea o semnificație reală. Prima strălucire a zorilor perturbă, probabil, adaptarea ochiului, deşi ea este prea slabă şi prea limitată în spațiu pentru a putea mări sensibil iluminarea mediului din jur.

217. Lumina roşie din zori şi din amurg ca semn al vremii

Această regulă străveche şi universală, după cum arată statistica modernă, se verifică în majoritatea cazurilor. Explicația este oarecum diferită în diversele cazuri. Apusul roşu înseamnă că aerul este curat în vest şi, deoarece condițiile vremii se schimbă, în general, din vest spre est, putem să ne aşteptăm la vreme bună; se pare că culoarea cerului se intensifică dacă razele roşii ale Soarelui iluminează ultimii nori ai unei depresiuni care se îndepărtează. Dacă însă depresiunea se apropie dinspre vest, norii întunecoşi aruncă umbre asupra unui spațiu mare şi cerul de seară pare palid, brun-

galben. Un răsărit roşu înseamnă că înspre est nu există formaţii mari de nori. Culoarea se intensifică cînd deasupra noastră trec nori cirrus, care s-ar putea să prevestească o depresiune nouă. Benzile orizontale sînt roşii numai atunci cînd aerul conţine praf sau picături de apă; dimineaţa este praf puţin, deci culoarea roşie trebuie să fie produsă de apă. Atunci cînd presiunea este ridicată şi timpul frumos, seara, cerul este senin şi vedem lumina purpurie; dimineaţa, în aceste cazuri, se lasă deseori o ceaţă uşoară.

> Soarele tău, scăldat în lacrimi, dispare în întregime la orizont,
> prevestind viitoare furtuni, nenorociri şi dezordini.
> (Shakespeare Viaţa şi moartea lui Richard al II-lea, actul II)

218. Perturbaţii în evoluţia normală a luminii crepusculare

Fenomenele de crepuscul sînt un instrument foarte fin pentru cercetarea purităţii păturilor superioare ale atmosferei. Culorile neobişnuite ale răsăriturilor şi apusurilor de Soare între anii 1883 şi 1886 au fost o consecinţă directă a prezenţei unui praf vulcanic aruncat în atmosferă în urma erupţiei vulcanului Krakatau din Indonezia, praf care s-a răspîndit în cîteva luni pe întreg Pămîntul, însă şi înainte şi după aceasta au avut loc perturbaţii optice mai slabe care au fost puse în legătură cu erupţii vulcanice (în 1831 Pantellaria, aproape de Sicilia; între 1902—1904 Mt. Pele; între 1912 — 1914 Katmai în Alaska). După fiecare erupţie mai serioasă a Vezuviului sau a Etnei putem să ne aşteptăm la fenomene de crepuscul neobişnuite, deşi, de obicei, e nevoie de mai mult de o săptămînă pentru ca praful vulcanic fin să ajungă în ţinuturile noastre.

Pare foarte probabil ca apariţia petelor şi protuberantelor în Soare să producă perturbaţii ale fenomenelor de crepuscul, deoarece electronii, ionii şi atomii emişi de Soare pot produce ionizări în atmosfera terestră. Dacă e adevărată această teorie, maximele perturbaţiiior vor trebui să aibă loc în jurul anului 1958[1].

O a treia cauză a perturbaţiiior a fost descoperită cu ocazia trecerii Pămîntului prin coada cometei Halley, la 18 şi 19 mai 1910. Fenomenele de crepuscul admirabile care s-au observat atunci au fost probabil o consecinţă a pătrunderii în atmosfera noastră a unor particule de praf din cometă (§ 188). Fenomene tot atît de intense au fost observate în 1908, cînd Pămîntul s-a ciocnit cu un meteorit gigantic care a căzut în spaţiile pustii ale Siberiei. Culori de crepuscul minunate s-au observat atunci în întreaga Europă.

Fenomenele optice principale care indică o perioadă de perturbaţii sînt următoarele:

a) „Inelul lui Bishop". Toată ziua Soarele se află în centrul unui disc luminos alb-albastru, înconjurat de un inel brun-roşcat. Partea cea mai luminoasă a inelului are o rază de circa 15°. Cînd Soarele este foarte jos, inelul lui Bishop se transformă într-un triunghi cu baza orizontală. Faptul că norii cirrus se văd trecînd în faţa inelului arată că acesta ia naştere foarte sus în atmosferă.
b) Un inel asemănător roşu-arămiu poate fi văzut uneori în jurul punctului antisolar; raza sa este de circa 25°.
c) Cerul pare tulbure şi palid, Soarele aproape de orizont este roşu-pal din cauză că razele sale trec printr-un strat de pîclă. Stelele de mărimea a şasea şi chiar a cincea nu se văd.
d) Neobişnuit de puţine halouri.
e) Nopţi neobişnuit de senine.
f) O lumină purpurie neobişnuit de intensă.
g) O a doua lumină purpurie. Aceasta este o schimbare în evoluţia fenomenului de crepuscul. Cînd lumina purpurie se stinge şi Soarele coboară la 7 pînă la 8° sub orizont, în locul unde a apărut la început lumina purpurie apare o lumină roşie-violetă slabă, care se dezvoltă în mod asemănător şi se stinge cînd Soarele coboară la 10 pînă la 11° sub orizont.
h) Nori ultracirrus (§ 220).
i) Nori de noapte luminoşi (argintii).
j) Luna are o nuanţă verzuie.

Chiar şi cei neiniţiaţi rămîn uimiţi de aceste fenomene cînd ele sînt mai pronunţate. Însă pentru observarea unor diferenţe fine, datorită cărora niciodată nu există două apusuri de Soare identice şi care sînt un indiciu foarte sensibil al oricărei perturbaţii cît de mici a fenomenelor optice, este nevoie de o practică îndelungată.

---

[1] Această previziune s-a adeverit şi fenomenele respective au fost obiectul unor studii speciale pe lot globul în cadrul Anului geofizic internaţional 1958. — N.T.

219. Aureola în jurul Soarelui

Dacă stăm cu faţa la Soare astfel încît Soarele să fie ecranat de vîrful unui acoperiş, în jurul său vedem o lumină care devine din ce în ce mai slabă spre marginea exterioară. Ea poate fi observată foarte bine într-un glob de grădină, dacă ne îndepărtăm de acesta cu cîţiva metri, astfel încît capul nostru să acopere imaginea Soarelui. Unii observatori afirmă că această lumină constă din două părţi: a) un disc alb-argintiu, cu raza de 2—5°, foarte variabil, care apare în special după-amiază; b) o lumină mult mai întinsă, cu raza pînă 'a 30—40°, care este aproape întotdeauna prezentă şi se transformă în amurg în lumina crepusculară. Alţii disting o aureolă albă-gălbuie cu raza de la 1/4 pînă la 2°, o „coroană" albă-albastră de 2—5°, un „disc central" de 15—23°, un „disc interior" de 10 — 40° şi un „disc exterior" de 25— 70°. Dimensiunile depind foarte mult de înălţimea Soarelui şi variază de la o zi la alta. De exemplu, cînd Soarele este foarte aproape de orizont, la mai puţin de 2° deasupra lui, se pare că el este însoţit de o aureolă cu raze galbene deschise. Această aureolă dispare cînd Soarele coboară sub 1° deasupra orizontului.

Studii fotometrice precise ale luminii din jurul Soarelui au fost efectuate rar. După toate probabilităţile, ceea ce ne apare ca un inel este de fapt o micşorare mai lentă a intensităţii luminii, care scade, în general, treptat, o dată cu creşterea distanţei de la Soare. Fără îndoială, această lumină ia naştere datorită difuziei luminii Soarelui pe particule de praf, picături de apă sau cristale de gheaţă, care difuzează în special sub unghiuri mici (§ 189). Din cauză că particulele au dimensiuni diferite, aureolele şi coroanele se suprapun şi este foarte greu să mai vorbim despre culori. Variaţia strălucirii şi distribuţiei luminii în aureola din jurul Soarelui este un criteriu al purităţii atmosferei, de care merită să ne folosim. Totodată, aceste modificări sînt strîns legate de fenomenele de crepuscul şi pot servi ca indicaţii asupra perturbaţiilor optice în atmosferă.

Dacă în aer există praf vulcanic, în jurul aureolei apare un inel difuz, brun-roscat, inelul lui Bishop (§ 218).

220. Norii cirrus de crepuscul sau ultracirrus

Uneori se întîmplă ca cerul înaintea apusului să fie cu totul senin, pentru ca după un anumit timp să apară nori ondulaţi foarte fini de o culoare albastră-cenuşie care plutesc la o înălţime mică deasupra orizontului din vest. Este interesant că ei se văd, pare-se, numai în momentul cînd Soarele apune, iar apoi apar din nou cînd înălţimea Soarelui este de — 3 şi — 7°. Aceasta înseamnă, probabil, că ei sînt iluminaţi din anumite direcţii. Astfel de observaţii au fost însă efectuate prea rar pentru a le putea acorda o semnificaţie generală. Apariţia ultracirrusilor este însoţită, de obicei, de un apus de Soare deosebit de frumos şi de perturbaţii optice. Se poate presupune că ultracirruşii constau din substanţă vulcanică. Aceşti nori sînt atît de fini, încît nu se văd ziua, însă apar în timpul apusului, datorită, evident, iluminării strălucitoare pe fondul întunecat. Deoarece ei au fost observaţi pînă la o înălţime de 10° deasupra orizontului, cînd înălţimea Soarelui era de — 7°, distanţa lor de la suprafaţa Pămîntului nu poate .depăşi cu mult 10 km. Aceasta înseamnă că ei se află în păturile inferioare ale stratosferei.

221. Norii argintii (fotografia XXI)

Aceştia sînt nori foarte fini, mult mai înalţi decît toate celelalte tipuri de nori. Ei se observă şi în condiţii atmosferice normale, însă cel mai bine în timpul unor perturbaţii optice. Este uimitor că ei se văd numai între 45 şi 60° latitudine nordică şi sudică, în special în perioada dintre mijlocul lui mai şi mijlocul lui august.

Atît timp cît Soarele încă nu a apus, cerul pare complet senin. Aproximativ la un sfert de oră după apusul Soarelui, norii luminoşi încep să apară, fie sub formă de pene fine, fie sub formă de încreţituri, fie, în sfîrşit, sub formă de benzi; ei se văd cel mai bine la o oră sau chiar ceva mai tîrziu după apusul Soarelui. Pe fondul luminii crepusculare (§ 210) ei apăr strălucitori, în timp ce norii cirrus obişnuiţi sînt întunecoşi. Norii înşişi nu emit lumină: este deci evident că norii argintii îşi primesc strălucirea de la lumina Soarelui, prin urmare ei trebuie să fie situaţi la mare înălţime în stratosfera. Culoarea lor alb-albăstruie poate fi observată timp de cîteva ore, însă pe măsură ce trece timpul, suprafaţa stratului iluminat devine mai mică şi coboară mai aproape de orizont; la miezul nopţii, strălucirea este minimă, apoi creşte din nou. Aceşti nori se văd rareori la o înălţime mai mare de 10° deasupra orizontului.

Înălţimea Soarelui la care au fost observaţi norii argintii variază de la — 16 la — 10°.

Luciul misterios alb-argintiu al acestor nori, care se transformă aproape de orizont într-un

luciu galben-auriu, produce o impresie puternică. Particulele care formează norii trebuie să fie, desigur, foarte mici, difuzînd în special lumina albastră. Aceasta rezultă din faptul că norii se văd printr-o sticlă albastră, însă nu şi printr-una roşie. De aici se înţelege de ce ei nu sînt coloraţi de lumina roşie a amurgului: numai razele care traversează atmosfera la o înălţime atît de mare, încît nu suferă nici o colorare, pot fi difuzate de norii de noapte. Unii observatori afirmă că lumina acestor nori este nepolarizată, în timp ce alţii vorbesc despre o polarizare foarte intensă (cu vibraţiile perpendiculare la planul care trece prin Soare, nor şi Pămînt, adică la fel ca la lumina cerului şi la diferite fenomene de difuzie). Poate că norii de noapte luminoşi constau uneori din particule mai mari, iar alteori din particule mai mici?

Înălţimea norilor argintii poate fi determinată din poziţia marginii exterioare a părţii iluminate. Este preferabil ca asemenea determinări să se facă la diferite poziţii ale Soarelui sub orizont, într-un caz s-a găsit că înălţimea marginii superioare deasupra orizontului, a, era de 10, 5 şi 3° în timp ce poziţia Soarelui sub orizont, (3, era de respectiv 12, 13 şi 14°. Pentru înălţimea norilor de noapte se poate deduce cu uşurinţă formula

$$h = R/4 * \beta^2 * (2\alpha + \beta / \alpha+\beta)^2$$

unde R este raza Pămîntului, iar α şi β sînt exprimate în radiani.

Înălţimile obţinute astfel trebuie majorate puţin, deoarece razele care merg aproape tangente la Pămînt nu sînt difuzate. Rezultate mai precise se obţin prin fotografierea din două puncte. În majoritatea cazurilor, norii se află la o înălţime de 75—90 km. Cunoscînd înălţimea, putem găsi distanţa reală între benzi, caracteristică pentru aceşti nori; ea este în medie de 6—9 km.

Importanţa studiului norilor argintii este accentuată de faptul că ei constituie un mijloc bun pentru cercetarea curenţilor în straturile superioare ale atmosferei terestre. Dacă nu putem obţine fotografii, viteza norilor poate fi determinată cu ajutorul unor oglinzi. De obicei ei se mişcă de la nord-est cu o viteză de 40—80 m/s, uneori dinspre vest-nord-vest cu o viteză de 30 m/s. Au fost măsurate viteze pînă la 300 m/s.

În trecut, era unanim acceptată ipoteza că norii de noapte luminoşi sînt produşi de praful vulcanic aruncat la mari înălţimi în atmosferă de erupţiile puternice, însă fenomenul se observă atît de des, încît poate fi atribuit şi unei alte cauze, şi anume prafului cosmic foarte fin din regiunea de univers care ne înconjoară, adus în atmosfera noastră de către „stelele căzătoare" (meteori); este posibil, deăsemenea ca cometele care trec aproape de Pămînt să lase în urma lor o mare cantitate de praf cosmic. Căderea marelui meteorit în Siberia în 1908 a fost urmată imediat de apariţia unor nori de noapte foarte intenşi. În unele cazuri însă rămîne mai probabilă ipoteza originii vulcanice a prafului[1].

Pentru fotografierea acestor nori este de dorit o camera cu deschidere mare. La o deschidere relativă de l :3 s-au ales timpurile de expunere de 16, 35, 72 şi 122 s cînd Soarele era respectiv la 9, 12, 14, şi 15° sub orizont[2].

222. Fenomenele luminoase de noapte

Pentru studiul formelor celor mai puţin intense ale fenomenelor de crepuscul trebuie sa începem să observăm noaptea, cînd ochii sînt bine odihniţi, stadiile incipiente ale răsăritului de Soare. Vom alege o noapte fără Lună cu un cer perfect senin, în mai sau în august-septembrie şi un loc cît se poate de îndepărtat de orice aşezare omenească. Nu este uşor să ne schimbăm obiceiurile şi să începem o zi de lucru în mijlocul nopţii cu cîteva ore de observaţii în afara casei, însă după ce am depăşit această dificultate, vom fi răsplătiţi din plin de priveliştea măreaţă care se desfăşoară în faţa ochilor noştri.

Un orăşean nu-şi poate imagina cum arată strălucirea cerului plin de stele. Capacitatea ochiului nostru de a se adapta la întuneric este într-adevăr uimitoare: cît de multe stele vedem noi după o oră, în comparaţie cu momentul cînd ieşim din casă! S-ar putea crede că întregul cer străluceşte. Acesta este momentul potrivit pentru observarea unor fenomene luminoase foarte slabe, dintre care unele pot fi văzute întotdeauna foarte clar, iar altele de obicei nu sînt vizibile.

Înainte de toate vom vedea, probabil, o lumină slabă în diferite locuri aproape de orizont. Aceasta este reflexia luminilor, oraşelor şi satelor îndepărtate. În unele nopţi, ea este mai clară decît în altele, în funcţie de faptul dacă cerul este înnorat, ceţos sau senin. Putem ţine seama cu uşurinţă de aceşti factori dacă efectuăm observaţiile întotdeauna dintr-un acelaşi loc.

---

[1] O discuţie, vezi la R. Suring, Die Wolken, Leipzig, 1936, pp. 30-36.

[2] A fost emisă, de asemenea, ipoteza că norii argintii s-ar datora apariţiei vaporilor de apă din ionii de hidrogen care ajung pe Pămînt de la Soare (vezi I. A. Hvostikov, „Priroda", nr. 5, 1952).

Prin mijlocul cerului trece ca o fişie Calea Lactee, care constă din nori luminoşi mari şi mici, separaţi prin intervale întunecate. Cei care n-au mai văzut niciodată cerul înstelat în toată splendoarea sa vor fi suprinşi de strălucirea neaşteptat de mare a unor părţi ale sale.

Uneori se văd benzi strălucitoare largi. Ele apar, pare-se deosebit de frecvent de două ori pe an, în august şi în decembrie. Apariţia lor corespunde probabil unor curenţi meteorici intenşi care, după cum ştim, constau din particule de praf. Astfel, de exemplu, aceste benzi luminoase pot fi observate la 15—16 noiembrie în timpul roiului leonidelor. Este posibil ca în aceste perioade, norii de praf fin pătrund din spaţiul interplanetar în atmosfera terestră. Benzile luminoase plutesc la o înălţime de 90—180 km şi se mişcă foarte încet, cu o viteză care nu depăşeşte 1° pe minut la zenit.

De cîteva ori pe an se vede la noi[1] aurora polară, cel puţin în anii de activitate solară intensă: în 1948—1949 şi în 1957 — 1958. Ea apare în partea de nord a cerului sub formă de arcuri, fascicule de raze etc.; deseori razele se deplasează rapid, alungindu-se şi contractîndu-se. Nu le confundaţi cu razele reflectoarelor îndepărtate. Aurora polară este un fenomen electric şi nu va fi descris în această carte, care se ocupă numai de fenomenele optice propriu-zise.

De-a lungul cercului zodiacal strălucirea cerului este mărită din cauza luminii zodiacale, care este deosebit de intensă în apropierea Soarelui şi slăbeşte rapid o dată cu apropierea de punctul antisolar.Ea seamănă cu o piramidă luminoasă care se ridică din orizont şi care este vizibilă în special primăvara în vest după apusul Soarelui şi toamna în est înainte de răsărit (vezi § 223).

Independent de toate aceste fenomene, fondul cerului are o anumită strălucire. Trăsăturile mîinii noastre, formele copacilor şi clădirilor par întunecate pe fondul cerului. 50% din această strălucire se explică prin acţiunea globală a milioanelor de stele invizibile, 5% prin difuzia luminii stelelor în atmosfera Pămîntului, iar restul prin lumina terestră.

Fondul cerului devine mai luminos spre orizont, mărginit peste tot de „lumina terestră". Se atinge strălucirea maximă la înălţimea de circa 15°. Aceasta este o strălucire specifică permanentă în atmosfera noastră. Cu cît privirea noastră este mai aproape de orizontală, cu atît este mai mare distanţa pe care o parcurge raza vizuală în stratul luminos şi cu atît este mai strălucitoare lumina terestră. Faptul că strălucirea scade aproape de orizont se explică prin slăbirea intensităţii luminii datorită absorbţiei şi difuziei în atmosferă.

Fără îndoială, strălucirea cerului de noapte nu este constantă. În unele nopţi, chiar şi în absenţa Lunii, ea depăşeşte de patru ori strălucirea obişnuită; putem chiar să vedem cît este ceasul şi să distingem literele mari. Această variabilitate trebuie atribuită variaţiilor de intensitate a luminii terestre, care, la rîndul lor, se explică prin variaţia intensităţii curenţilor de electroni şi ioni cu care Soarele „bombardează" atmosfera noastră.

Să trecem acum la observarea fenomenelor de crepuscul nocturne. Priviţi marginea luminii terestre în partea de nord a cerului. Ea se ridică aici treptat cu circa 10°, atingînd o lăţime maximă undeva deasupra punctului în care se află Soarele sub orizont, invizibil pentru noi. Aceasta este lumina crepusculară nocturnă. Ea poate fi recunoscută prin aceea că în timpul nopţii se deplasează continuu spre răsărit, înălţimea sa deasupra Soarelui este de circa 40°; în condiţiile cele mai favorabile (în Groenlanda) ea se observă pînă la o înălţime de 55°. Aşadar, la latitudinile noastre nopţile de vară nu sînt niciodată complet întunecate; lumina crepusculară durează de fapt toată noaptea. Cerul nostru este întunecat numai iarna. Cerul tropical este noaptea atît de negru din cauză că acolo Soarele coboară adînc sub orizont. În alte locuri, dimpotrivă, lumina crepusculară de noapte este neobişnuit de intensă.

Cu două ore şi jumătate înainte de răsăritul Soarelui, lumina devine asimetrică. Ea se ridică la răsărit din ce în ce mai mult, căpătînd după un anumit timp forma unui con luminos înclinat; aceasta este lumina zodiacală; axa sa are practic aceeaşi înclinare ca şi ecliptica (§ 223).

Aproximativ cu două ore înainte de răsărit, cînd Soarele este încă cu 20° sub orizont, la baza luminii zodiacale, puţin la dreapta faţă de Soare, apare o lumină albastră foarte slabă. Ea se observă destul de greu şi, ridicîndu-se încet, se deplasează treptat la stînga, spre Soare (fig. 167). Aceasta este lumina zorilor timpurii, care, într-o jumătate de oră, atinge zenitul. Arcurile zorilor sînt aşezate de obicei vertical deasupra Soarelui. Deplasarea aparentă a zorilor timpurii spre dreapta se explică prin aceea că strălucirea lor se suprapune peste strălucirea luminii zodiacale din dreapta. Însă cu cît aurora devine mai intensă, cu atît ea începe să predomine mai mult, pînă ce îşi ocupă poziţia sa normală deasupra Soarelui. Apoi ea continuă să însoţească Soarele în mişcarea sa diurnă, deplasîridu-se încet împreună cu el din ce în ce mai mult spre dreapta.

---

[1] Este vorba de Olanda.

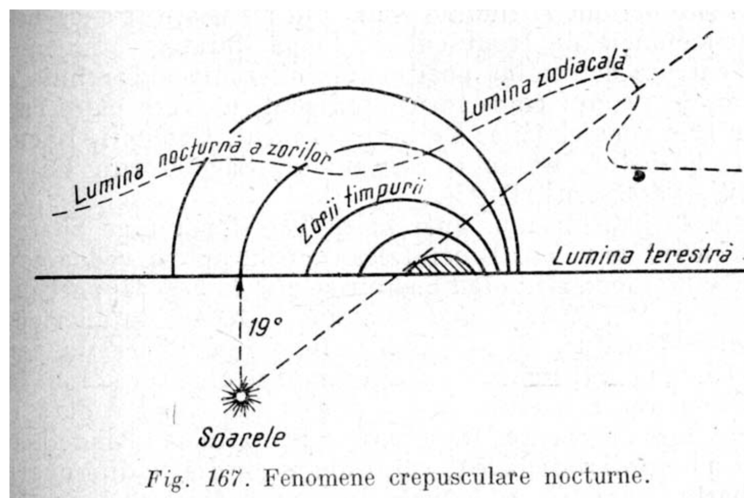


Fig. 167. Fenomene crepusculare nocturne.

Stelele mai slabe (de mărimea a 5-a) dispar treptat, cele strălucitoare mai sînt vizibile; se pot deosebi amănuntele principale din jur. La apus devine tot mai pronunțată lumina aurorei de vest. Apar zorile a căror lumină este galbenă şi care capătă la vîrf o nuanță albastră-verzuie, încep zorile propriu-zise: înălțimea Soarelui este de — 17°, — 16° (vezi şi § 210).

În alte anotimpuri, evoluția fenomenelor rămîne aceeaşi; se modifică numai adîncimea la care coboară Soarele. La mijlocul lui iunie, de exemplu, la latitudinile noastre, Soarele nu coboară sub orizont cu mai mult de 10 — 15°, astfel încît fenomenele care apar la o poziție mai coborîtă a Soarelui nu sînt vizibile.

223. Lumina zodiacală[1]

Cînd se termină amurgul sau încep zorile, în anumite luni se poate vedea lumina zodiacală, o lumină care se ridică dinspre orizont ca o piramidă înclinată şi rotunjită. Cu cît ea răsare mai brusc, cu atît se observă mai bine. Cel mai comod se observă în ianuarie, februarie şi martie, seara, în partea de apus a cerului, şi în octombrie, noiembrie, decembrie dis-de-dimineață, în partea de răsărit (seara totuşi condițiile de observație sînt mai bune). În iunie şi iulie, lumina zodiacală nu se vede în general la latitudinile noastre; în timpul acesta, Soarele nu coboară suficient de mult sub orizont şi lumina zodiacală nu poate fi deosebită de fenomenele de crepuscul de lungă durată.

Pentru a determina poziția luminii zodiacale trebuie să găsim, în primul rînd, însuşi zodiacul, un cerc mare care trece prin constelațiile: Berbecul, Taurul, Gemenii, Racul, Leul, Fecioara, Balanța, Scorpionul, Săgetătorul, Capricornul, Vărsătorul, Peştii.

Acesta este drumul aparent pe care-l parcurge Soarele în decursul unui an. Bineînțeles, noi nu putem vedea constelația în momentul cînd Soarele se află în aceeaşi porțiune a cerului, însă atunci cînd el apune şi începe întunericul, restul zodiacului devine vizibil. De-a lungul acestui cerc se întinde un văl luminos specific, mai strălucitor şi mai lat în apropierea Soarelui, care se îngustează rapid o dată cu îndepărtarea de Soare. De o parte a Soarelui se întinde acea parte a luminii zodiacale pe care o observăm dis-de-dimineață, de partea cealaltă se întinde lumina zodiacală de seară. Un observator cu experiență poate vedea lumina zodiacală atît dimineața cît şi seara, în tot timpul celor şase luni de iarnă. Lumina însăşi este slabă, cam de aceeaşi intensitate cu cea a Căii Lactee, însă este mai „lăptoasă" şi mai puțin „granulară". Trebuie să ai o anumită practică pentru a o observa. Fireşte, trebuie să alegem o noapte fără Lună, dar chiar şi o lampă, fie şi îndepărtată, influențează în mod nefavorabil observațiile; chiar şi planetele mai strălucitoare, ca Venus şi Jupiter, pot perturba aceste observații. Ele nu trebuie efectuate în apropierea oraşelor mari; cel mai nimerit este un loc ridicat, cu orizontul deschis în toate direcțiile.

Mai întîi însemnați pe o hartă stelară limitele luminii zodiacale față de stele bine cunoscute, apoi trasați liniile de egală strălucire. Partea centrală este cea mai strălucitoare; strălucirea scade treptat spre vîrf şi spre margini, mai mult în nord decît în sud, astfel încît regiunea de strălucire maximă este deplasată spre sud față de axa de simetrie a părților mai slabe. Cu ajutorul unor astfel de desene simple, putem aprecia dimensiunile regiunii ocupate de acest fenomen luminos. Măsurate sub un unghi drept față de axă, ele sînt respectiv de 40, 20 şi 10° pentru distanțele de 30, 90 şi 150° de Soare.

[1] F r. Schmid, Das Zodiakallicht, Hamburg, 1928; W. Bruner, „Publ. Sternw.", Zurich, 1935; Sanding, „Astr. Nachr.", 272, l, 1941.

Cine îşi ia asupra sa sarcina destul de grea să urmărească lumina zodiacală în cursul unei nopţi întregi, va fi răsplătit şi uimit de modificările admirabile ale priveliştii care evoluează în faţa ochilor săi. La aproximativ două ore după apusul Soarelui, cînd înălţimea acestuia este de — 17°, devine vizibil un con luminos cuneiform foarte slab, care se ridică oblic spre sud-vest. Cînd Soarele coboară pînă la — 20°, se întunecă atît de mult, încît putem observa o piramidă luminoasă uriaşă. Aceasta este lumina zodiacală de vest, care în timpul nopţii se întinde tot mai mult în lăţime şi în înălţime. Poziţia sa faţă de stele rămîne în ansamblu aceeaşi. Totuşi se remarcă o oarecare deplasare: stelele care erau situate ceva mai spre sud îşi schimbă mai tîrziu poziţia în lumina zodiacală, deplasîndu-se puţin spre nord. Timpul cel mai potrivit pentru observarea acestui fenomen interesant este prima jumătate a iernii.

Treptat, lumina zodiacală de apus începe să dispară şi în est apare lumina zodiacală de răsărit. Spre miezul nopţii soseşte momentul potrivit pentru căutarea renumitei „antilumini", unul din fenomenele cele mai greu de observat, care poate fi văzut numai în nopţile senine foarte întunecoase de iarnă. În punctul antisolar, care se află practic în sud, se observă o punte foarte slabă care uneşte vîrfurile luminii zodiacale de răsărit şi de apus. Mai tîrziu se poate vedea cum lumina zodiacală de răsărit se mişcă împreună cu stelele, deplasîndu-se totuşi puţin faţă de ele ; stelele par să se deplaseze din regiunea de nord în regiunea de sud a piramidei. Totul se întîmplă ca şi cum lumina zodiacală ar participa la rotaţia diurnă a cerului, rămînînd doar puţin în urmă faţă de stele.

Se apropie ziua; cînd Soarele se află la 20 sau 19° sub orizont, se pare că baza piramidei luminii zodiacale de est devine mai largă şi mai strălucitoare. Cînd Soarele este la 19—17° sub orizont, începe prima fază a zorilor.

Lumina zodiacală este un fenomen mult mai complex decît s-a crezut la început. Ea apare mai ales ca rezultatul combinat al următoarelor două cauze:

1. Un disc uriaş de praf şi de gaz cosmic care înconjură Soarele şi difuzează lumina sa; noi vedem acest nor de praf iluminat de Soare; strălucirea sa este cu atît mai mare, cu cît raza noastră vizuală trece mai aproape de Soare.
2. Lumina crepusculară de noapte (§ 222), care poate fi considerată ca o lumină foarte slabă difuzată de păturile înalte ale atmosferei şi cere este astfel ultimul stadiu a] amurgului. Strălucirea acestei lumini creste, de asemenea, în apropierea Soarelui, însă mult mai încet decît la componenta cosmică; în acest caz, izofotele ocolesc Soarele, ca şi la fenomenele de crepuscul obişnuite; lumina zodiacală nu prezintă un astfel de efect.

Combinarea fenomenelor (1) şi (2) duce la apariţia piramidei luminoase „tipice" a luminii zodiacale, iar modificarea poziţiei orizontului şi zodiacului ne permite să înţelegem de ce acest fenomen luminos se deplasează în timpul nopţii şi al anului. Deplasarea depinde, de asemenea, de poziţia geografică a locului de observaţie. La acestea trebuie să mai adăugăm lumina cunoscută sub numele de „lumina terestră" (§ 222), care are un maximum de intensitate la circa 15° deasupra orizontului. În sfîrşit, absorbţia luminii în atmosfera Pămîntului determină micşorarea strălucirii la orizont. Dacă norul de praf cosmic care produce lumina zodiacală ar forma un inel în afara orbitei Pămîntului, acest inel ar trebui să strălucească tot atît de intens în apropierea anti-luminii ca şi în partea cealaltă, în Z (fig. 168). Dar în realitate nu se întîmplă aşa. Norul de gaz şi de praf zodiacal are o formă lenticulară, planul său de simetrie este aproape de ecliptică. El se întinde mult dincolo de orbita Pămîntului, cel puţin pînă la orbita lui Jupiter. Densitatea norului creşte în direcţia Soarelui, deşi este posibil ca în interiorul orbitei lui Venus densitatea să descrească. Din cauza luminii crepusculului noi nu putem observa lumina zodiacală la mai puţin de 30° de Soare; la distanţe unghiulare mai mari, strălucirea luminii zodiacale scade, deoarece difuzia la unghiuri mari devine mai slabă şi densitatea norului în părţile sale exterioare scade.

Particulele de praf pe care se produce prin difuzio lumina zodiacală sînt aceleaşi pe care le observăm ca meteori atunci cînd pătrund în atmosfera noastră.

Modificările rapide de strălucire, observate de cîţiva autori, sînt legate fie de iluzii subiective, fie de modificări ale luminii ionosferei.

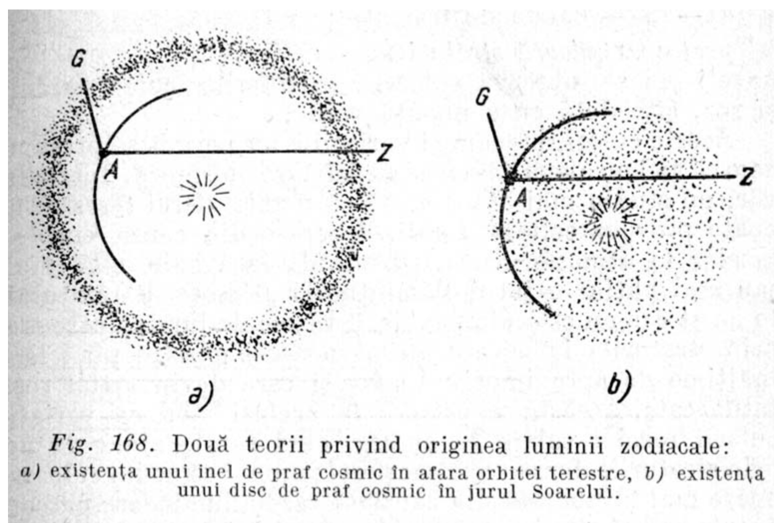


Fig. 168. Două teorii privind originea luminii zodiacale: *a)* existenţa unui inel de praf cosmic în afara orbitei terestre, *b)* existenţa unui disc de praf cosmic în jurul Soarelui.

Fesenkov şi o serie de alţi autori afirmă că lumina zodiacală se explică parţial prin difuzia în atmosfera Pămîntului care, sub influenţa presiunii luminii Soarelui, formează un fel de coadă al cărei capăt ne apare ca o contralumină. Această teorie, chiar dacă este justă, poate juca numai un rol redus în explicarea fenomenului. Alţi autori explică contralumina printr-o acumulare de praf meteoritic la o anumită distanţă în spatele Pămîntului.

Se pare că există şi o lumină zodiacală lunară, care apare înaintea răsăritului Lunii şi după apusul ei. Observarea acestei lumini este însă în orice caz tot atît de dificilă ca şi observarea contraluminii solare.

224. Eclipsele de Lună

Eclipsele de Lună sînt produse de umbra Pămîntului care cade pe Lună. N-ar fi oare util sa cercetăm cum arată această umbră? Din acest punct de vedere, eclipsa de Lună este într-adevăr un mijloc preţios cu ajutorul căruia putem obţine anumite informaţii despre Pămînt.

Nu există doua eclipse de Lună identice. Foarte rareori eclipsa este atît de întunecată, încît Luna să nu se mai vadă de loc pe cerul nocturn. Centrul umbrei este de obicei colorat într-o culoare roşie-arămie pală şi înconjurat de culori de strălucire crescîndă. Unii observatori disting: partea interioară întunecată 0—30' neagră-roşiatică; spre marginea exterioară — mai strălucitoare brună-portocalie; 30—41' — o margine cenuşie de strălucire constantă; 41—42' — banda de tranziţie; partea exterioară strălucitoare. Uneori ea se observă colorată în diferite culori arămii şi roz, cîteodată cu o nuanţă verde.

Aceste culori, precum şi variaţiile lor permit să presupunem că aici nu avem de-a face cu o umbră obişnuită, într-adevăr, un studiu mai atent arată că umbra sferei terestre nu poate provoca eclipsa Lunii, deoarece din cauza curbării razelor în atmosfera noastră, ele se încovoaie mai mult sau mai puţin în jurul Pămîntului. „Umbra Pămîntului" în acest caz nu este altceva decît razele de lumină care trec prin straturile inferioare ale atmosferei noastre pînă la o înălţime de aproximativ 10 km şi care devin astfel roşii întunecate. Aceasta se petrece în acelaşi mod ca variaţia culorii razelor solare în amurg, cînd razele ajung la noi prin straturile dense ale atmosferei; numai că acum culoarea apare mai întunecată din cauză că razele luminoase parcurg în atmosferă o distanţă dublă. În felul acesta, culoarea părţii centrale a umbrei Pămîntului indică gradul de transparenţă al atmosferei noastre. De aceea Luna, în timpul eclipsei, pare deosebit de întunecată atunci cînd atmosfera conţine cantităţi mari de praf, rezultat din erupţii vulcanice. Eclipsa de Lună este, de asemenea, în medie mai întunecată atunci cînd Luna trece prin partea nordică a umbrei Pămîntului decît atunci cînd trece prin partea sudică, deoarece se pare că în emisfera nordică există mai mult praf vulcanic şi praf de nisip decît în cea sudică.

Strălucirea eclipsei lunare poate fi evaluată simplu, ţinînd cont de faptul că atunci cînd intensitatea luminii este mică, ochiul nostru nu mai poate deosebi detaliile mărunte: de exemplu, în timp ce în amurg se mai pot citi titlurile mari de gazetă, literele de tipar obişnuite nu mai sînt descifrabile. Tot astfel, în timpul eclipsei trebuie să observăm dacă regiunile mari de pe suprafaţa Lunii (aşa-numitele „mări"), care de obicei par ca nişte pete cenuşii, mai rămîn vizibile: a) cu ochiul liber, b) într-un mic telescop cu diametrul obiectivului de la 5 la 15 cm; c) într-un telescop mare.

Aceste trei evaluări sînt suficiente pentru a ne permite să clasificăm eclipsele în eclipse luminoase, mijlocii şi întunecoase. Compararea sistematică a evaluărilor obţinute în decursul mai

multor ani poate dă material pentru multe concluzii interesante. (Țineți seama de faptul că telescopul nu mărește strălucirea imaginii planului iluminat: aceasta este numai o mărire optică, însoțită de o ameliorare a vizibilității!)

225. Lumina cenușie

Curînd după apariția Lunii noi, putem vedea restul suprafeței lunare slab iluminată (fig. 91). Această „lumină cenușie" provine de la Pămînt, care iluminează Luna ca o sursă mare și strălucitoare de lumină. Este remarcabil faptul că lumina cenușie nu este întotdeauna la fel de intensă. Uneori ea nu se vede aproape de loc, alteori însă este albă-lăptoasă și atît de strălucitoare, încît putem distinge petele mai întunecate care se văd de obicei pe suprafața ei.Variațiile de intensitate ale luminii cenușii se atribuie faptului că emisfera terestră îndreptată spre Lună este ocupată cînd mai mult de oceane, cînd mai mult de continente; variază și gradul de acoperire cu nori a cerului. Astfel, privind lumina cenușie, putem sa ne formăm o idee generală despre condițiile existente pe o întreagă jumătate a globului pămîntesc! Din acest punct de vedere, studiul luminii cenușii face parte, de fapt, din geofizică.

Evaluați sistematic intensitatea luminii cenușii cu ajutorul unei scări zecimale (1-invizibil, 5-bine vizibil, 10-foarte strălucitor). Veți observa repede că vizibilitatea depinde foarte mult de fazele Lunii, deoarece se micșorează regiunea Pămîntului care iluminează Lună; în afară de aceasta, secera strălucitoare ne orbește cînd devine mai lată. De aceea, compararea vizibilității luminii cenușii în zile diferite are sens numai dacă Luna se află în aceeași fază. Pe de altă parte, înălțimea Lunii deasupra orizontului influențează vizibilitatea, pare-se numai într-o măsură foarte mică.

226. „Farfuriile zburătoare”[1]

În 1947, un american, în timp ce zbura deasupra Munților Stîncoși, observă un grup neobișnuit de avioane care păreau că se mișcă cu o viteză de necrezut. El le-a comparat cu niște „farfurii zburătoare". Această poveste a produs o impresie profundă asupra publicului și, de atunci, apar anual cîte o sută sau două de relatări despre astfel de obiecte. La început, aceste comunicări soseau din S.U.A., apoi și din Europa. Se comunică despre pete luminoase, care se mișcă de-a lungul unor traiectorii neregulate, se opresc și apoi pornesc din nou cu viteză mare. O serie de observații au fost făcute ziua. Unii vorbeau despre o nouă armă de război, alții despre nave cosmice, iar cineva a ajuns chiar să vorbească despre musafiri de pe Marte. Istoria literaturii științifice de popularizare arată că astfel de povesti s-au răspîndit și cu mult înainte: anii 1882 și 1897 au fost ani de record,'dar și în anii 1863, 1894, 1896 și 1908 au existat „farfurii zburătoare". Despre ele s-a vorbit și în evul mediu, și în antichitate, și în timpurile biblice. În realitate „farfuriile zburătoare" sînt:

1. Planeta Venus, în perioada strălucirii intense; mișcarea aparentă poate fi explicată conform § 115.
2. Un meteor sau un bolid strălucitor; urma poate să-și păstreze luminozitatea cîteva minute și să-și schimbe forma într-un mod complicat.
3. Un mic balon dintre acelea care se lansează în atmosferă cu miile de către institutele meteorologice din întreaga lume.
4. Un avion obișnuit, în condiții de iluminare neobișnuite.
5. Un fenomen de halo, în special un Soare fals.
6. Fenomene legate de refracția luminii.
7. Formații de nori și straturi de ceață în condiții de iluminare neobișnuite.
8. Diferite obiecte întîmplătoare: baloane și zmei de hîrtie cu care se joacă copiii, o pînză de păianjen, imagini consecutive în ochi, lumina unui reflector care alunecă pe nori, aurora polară etc.
9. Glume și pozne intenționate.

Trebuie menționat că nici unul din institutele astronomice nu a făcut vreo comunicare în acest domeniu. În ultimii ani, interesul publicului și al ziarelor față de aceste fenomene a slăbit mult și în prezent farfuriile zburătoare sînt date aproape cu totul uitării. Dar nu trebuie să facem niciodată concesii panicii, psihozei războinice și misticismului; mai bine să ne amintim cît de multe fenomene am descris în această carte, pe care mulți oameni nu le-au observat niciodată, deși ele își găsesc o explicație foarte simplă. Nu trebuie să considerăm nici fotografiile ca dovezi incontestabile: deseori pot apărea efecte neașteptate din cauza unei focalizări greșite, a difuziei luminii sau a unor luciri. Nici chiar observațiile de radiolocație nu constituie o dovadă hotărîtoare.

Dacă vi se întîmplă să zăriți „farfurii zburătoare", luați măsuri de precauție: rugați pe cineva să

[1] D. H. Menzel, Flying Saucers, Cambridge, 1953.

verifice observația voastră; evitați observarea printr-un geam sau prin draperii; evaluați distanța unghiulară a Soarelui (distanța de circa 22° indică un fenomen de halo); notați exact ora şi remarcați toate sursele de lumină strălucitoare din împrejurimi.

XII. Lumina şi culoarea în peisaj

227. Culoarea Soarelui, Lunii şi a stelelor

Din cauza strălucirii orbitoare a Soarelui, este greu de a stabili culoarea sa. Eu totuşi as spune că ea este, în mod cert, galbenă şi împreună cu lumina cerului albastru creează un amestec pe care-l numim „alb" — culoarea unei foi de hîrtie, atunci cînd Soarele străluceşte şi cerul e senin. Aprecierile de genul acesta sînt dificile din cauza unei anumite ambiguităţi a noţiunii de alb. În general, sîntem înclinaţi să considerăm albă sau aproape albă culoarea predominantă în mediul nostru înconjurător (vezi §§ 109, 110). Pe o zi mohorîtă sau ceţoasă, razele care pornesc de la Soare şi de la cer sînt deja amestecate din cauza reflexiilor şi refracţiilor multiple în picăturile de apă; lumina cerului devine albă. Dacă ţinem seama de faptul că lumina albastră a cerului este de fapt lumina difuzată a Soarelui, ajungem la concluzia că Soarele, observat în afara atmosferei, trebuie să fie şi el practic alb.

Ştim de acum că culoarea portocalie sau roşie a Soarelui care apune este legată de creşterea rapidă a drumului pe care-l parcurg razele sale în aer înainte de a ajunge în ochiul nostru; treptat, razele mai refractabile sînt difuzate aproape total şi rămîn numai cele de culoare roşie-închisă (§ 196). În cazuri deosebit de rare, atunci cînd picăturile de ceaţă sînt foarte mici şi difuzează mai intens undele scurte (§ 197), Soarele apare roşu-arămii chiar şi la o mare înălţime deasupra orizontului. În alte cazuri, el este albăstriu, şi spune că aceasta se întîmplă cel mai des atunci cînd marginile norilor sînt colorate în portocaliu. Se poate ca aici să intervină contrastul de culori sau faptul că un observator neexperimentat amesteca culoarea norilor în imediata vecinătate a Soarelui cu culoarea discului solar. Un fenomen de cu totul altă natură este Soarele albastru care se vede printr-un nor dens de picături de mărime egală (§ 181).

Luna are ziua o culoare albă surprinzător de pură. Aceasta se explică prin aceea că lumina albastră difuzată de cer se adaugă la lumina galbenă a Lunii. Tot astfel, atunci cînd Luna răsare sau apune ziua, ea este practic incoloră, ştearsă şi bate numai puţin spre galben. O dată cu apusul Soarelui, pe măsură ce lumina albastră a cerului slăbeşte, lumina devine din ce în ce mai galbenă. La un moment dat ea devine de un galben pur; de altfel, culoarea pare mai plină, probabil datorită contrastului cu fondul încă albastru. Cînd amurgul se apropie de sfîrşit, culoarea Lunii devine din nou albă-gălbuie, probabil din cauza că totul din jur devine mai întunecat. Lumina Lunii ni se pare foarte strălucitoare şi, de aceea, datorită particularităţii ochiului nostru, ea „devine" albă, ca toate celelalte surse de lumină foarte strălucitoare (§ 90).

În restul nopţii, Luna îşi păstrează culoarea galbenă deschisă, întocmai ca Soarele ziua. Culoarea este mai alba în nopţile de iarnă foarte senine cînd Luna este în înaltul cerului, însă în apropiere de orizont ea devine tot atît de portocalie şi roşie ca şi Soarele la asfinţit; faptul ca în acest caz impresia se modifică complet, se explică prin intensitatea mult mai mică a luminii.

Luna plină, cînd o vedem în umbra albăstruie a Pămîntului, are o culoare plăcută, galbenă-arămie, care se datoreşte, fără îndoială, contrastului cu mediul din jur. Cînd este înconjurată de mici nori roşii-purpurii, culoarea ei devine aproape verde-galbenă; dacă norii sînt portocalii-roz, Luna devine albastră-verde. Aceste culori de contrast sînt mai pronunţate pentru secera lunară decît pentru Luna plină.

Nu trebuie să confundăm culoarea Lunii cu culoarea peisajului în lumina Lunii, care se consideră, de obicei, albastră sau verde-albastră. Fără îndoială, acest efect este determinat, în mare măsură, de contrastul cu lumina portocalie a surselor de lumină artificiale, care subliniază şi mai mult albăstrimea cerului iluminat de Lună.

Pentru a ne forma o idee despre diferenţele de culoare ale stelelor, să ne uităm la pătratul mare din constelaţia Orionului. Vom observa că culoarea lui Betelgeuse, steaua a cca mai strălucitoare, în stînga sus (vezi fig. 72), pare surprinzător de galbenă sau chiar portocalie în comparaţie cu celelalte trei stele. În apropiere de această constelaţie vedem o altă stea portocalie, Aldebaran din constelaţia Taurului.

Pentru a face pasul următor nu mai este suficient să ne limităm la diferenţe de culori atît de uşor observabile; este nevoie de o diferenţiere mai fină a nuanţelor. Aceasta constituie un examen pentru capacitatea ochiului nostru de a deosebi culorile, capacitate care depinde foarte mult de practică. Deoarece diferenţa de culoare a stelelor este determinată de diferenţa lor de temperatură, putem conchide că ele prezintă aceeaşi succesiune de culori ca şi un corp incandescent care se răceşte, trecînd treptat de la alb prin galben şi portocaliu la roşu. Nu s-a stabilit definitiv dacă stelele cele mai fierbinţi trebuie considerate albastre sau albe; părerile diferiţilor observatori în legătură cu problema ce reprezintă de fapt stelele „albe" sînt divergente; după cît se pare, unii observatori sînt influenţaţi mai puternic decît alţii de fondul slab iluminat al cerului, care ni se pare albăstrui şi pe care noi ne-am

obişnuit să-l considerăm incolor numai din cauză că aceasta este culoarea obişnuită a peisajului nocturn.

Scara de mai jos ne dă o imagine despre culorile stelelor şi despre cifrele care le caracterizează. Evaluările de culoare făcute în mod independent de observatori experimentaţi sînt adeseori cu o clasă mai sus sau mai jos decît media dată aici. Evaluările din exemplele de mai jos au fost făcute de observatori care nu au văzut stele albastre ca atare şi, de aceea, nu au dat valori negative.

Scara culorilor

-2 albastru
-l alb-albăstrui
0 alb
1 alb-gălbui
2 galben-alb
3 galben-deschis
4 galben pur
5 galben-închis
6 galben-portocaliu
7 portocaliu
8 roşu-gălbui
9 roşu

Exemple

α din Cîinele Mare (Sirius)	0,8
α din Lira (Vega)	0,8
α din Leul (Regulus)	2,1
α din Cîinele Mic (Procyon)	2,4
α din Vulturul (Altair)	2,6
α din Carul Mare	4,9
β din Carul Mare	2,3
α din Carul Mic	3,8
β din Carul Mic	5,8
α din Boarul (Arcturus)	4,5
α din Scorpionul (Antares)	7,5
Venus	3,5
Marte	7,6
Jupiter	3,6
Saturn	4,8

Stelele devin şi ele cu atît mai roşii, cu cît sînt mai aproape de orizont, însă aici licărirea lor împiedică evaluarea corectă a culorii. Este interesant că, în condiţiile de pe Pămînt, noi considerăm un obiect încălzit la 2 500°C alb, în timp ce o stea, cu temperatura aceasta, ni se pare roşie-portocalie. Acest fenomen psihologic trebuie atribuit, probabil, faptului că stelele sînt mult mai puţin strălucitoare, astfel încît componenta roşie mai este percepută de ochi, în timp ce componenta verde şi cea albastră se află dincolo de valoarea de prag.

Un observator bun mi-a spus că el determină mai bine culorile stelelor la lumina Lunii decît într-o noapte întunecoasă. Este posibil oare ca la o iluminare difuză conurile ochiului nostru să joace un rol mai important decît bastonaşele?

228. Culoarea norilor

Este o mare plăcere să urmăreşti vara norii cumulus care trec deasupra noastră şi să cauţi să afli cauza pentru care ei sînt cînd luminoşi, cînd întunecaţi. Iluminat de Soare, norul este de un alb orbitor, însă cînd trece deasupra noastră, baza sa devine cenuşie sau complet întunecată. Picăturile de apă din nor sînt distribuite atît de compact, încît constituie un corp alb aproape complet netransparent; el este alb pentru că lumina pătrunde cu greu în nor, însă este intens reflectată de mulţimea de picături. Cînd norii cumulus acoperă Soarele ei par întunecaţi, însă marginile lor sînt întotdeauna luminoase: „fiecare nor are o căptuşeală argintie". Distribuţia luminii şi umbrei ne dă astfel date interesante despre diferitele porţiuni ale norului — superioare, inferioare, anterioare, posterioare — şi despre aspectul real

al acestei formaţiuni uriaşe. Nu este totdeauna uşor de obţinut o imagine corectă despre proporţiile norului sau despre poziţia sa faţă de Soare. Dacă, de exemplu, norii sînt în faţa mea, iar Soarele, la o oarecare distanţă, deasupra lor, spre surpriza mea voi vedea numai umbre (fig. 169, a). Eu nu pot să-mi dau seama de imensitatea distanţei pînă la Soare, considerîndu-l în mod inconştient foarte aproape şi, de aceea, mi se pare că porţiunea AB trebuie să fie iluminată (fig. 169, b). În realitate însă, razele care iluminează norul se propagă paralel cu dreapta care uneşte Soarele cu ochiul meu (fig. 169 c).

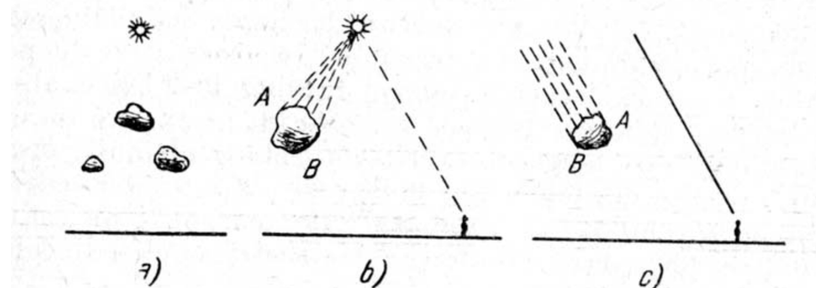


Fig. 169. Lumina şi umbrele pe norii cumulus: *a)* cum vedem peisajul şi observatorul dacă privim de la nord spre sud; *b)* impresiile subiective eronate ale observatorului şi imaginea pe care el se aştepta s-o vadă; *c)* cum stau lucrurile în realitate. În cazurile *b* şi *c*, observatorul priveşte de la răsărit spre apus. Soarele e la sud.

Oricît de capricios ar fi jocul luminii şi umbrei, oricît de mult ar complica situaţia umbrele aruncate de un nor asupra celuilalt, pare imposibil de explicat numai prin aceasta toate deosebirile de culoare ale norilor cumulus.

Gînd cerul se înseninează după o furtună şi pe el rămîn cîţiva nori cumulus iluminaţi de Soare şi aşezaţi astfel încît umbra unuia să nu poată cădea în nici un caz pe celălalt, aceşti nori devin din ce în ce mai întunecaţi şi, în sfîrşit, înainte de a dispare complet, devin albaştri-negri. Impresia generală este că părţile subţiri ale norilor cumulus, vizibile pe fondul cerului albastru, nu sînt „albastre + albe" (aşa cum ne-am fi putut aştepta), ci „albastre + negre".

Pe de altă parte, un nor cumulus pare cenuşiu atunci cînd îl vedem pe fondul unui alt nor mare complet alb, astfel că nu se poate pune problema că strălucirea creste pur şi simplu din cauza creşterii grosimii totale a straturilor. Fizica acestor fenomene, deşi ele se observă zilnic, nu a fost încă suficient de bine studiată. Desigur, trebuie să manifestăm o prudenţă deosebită faţă de ideea că norii absorb într-adevăr lumină; în primul rînd ar trebui să încercăm să explicăm fenomenul, presupunînd că norii sînt formaţiuni albe solide; apoi trebuie să ne amintim că, în realitate, ei nu sînt altceva decît o ceaţă care difuzează lumina şi, în sfîrşit, să ţinem seama de faptul că norii pot conţine particule de praf întunecate. Este interesant de comparat norii cu aburul alb (nu fumul!) al unei locomotive. În anumite cazuri, aburul pare mai alb dacă-i observăm sub un unghi mare faţă de lumina incidenţa şi mai puţin strălucitor cînd îl privim dinspre partea Soarelui, deci cînd ochiul recepţionează razele reflectate aproape în direcţia de incidenţă. În alte cazuri, indiferent de direcţia de observaţie, aburul este mult mai strălucitor decît părţile cele mai strălucitoare ale norilor cumulus; se poate că acest fapt este legat de distanţa mare pînă la nori şi de slăbirea luminii din cauza difuziei în aer.

Norii cumulus întunecoşi priviţi de la distanţă par adeseori albăstrui. Aceasta nu este culoarea proprie a norilor, ci se datoreşte luminii difuzate în atmosfera dintre nor şi ochiul nostru. Cu cît norul întunecat este mai departe de noi, cu atît culoarea sa se apropie mai mult de culoarea cerului. Pe de altă parte, norii strălucitori în apropierea orizontului devin gălbui (§ 196).

Ar trebui să studiem şi alţi nori şi să încercăm să explicăm, de exemplu, de ce norii de ploaie sînt atît de cenuşii, de ce la norii de furtună se poate distinge o culoare plumburie specifică alături de una portocalie ştearsă. Nu este oare praf? Informaţiile noastre despre toate acestea sînt însă atît de incomplete, încît ne limităm la aceea că-l îndemnăm pe cititor să efectueze observaţii independente.

Distribuţia de luminozitate pe bolta cerească, acoperită uniform şi compact de nori, este foarte caracteristică şi completează oarecum distribuţia pe cer senin. Comparaţi, de exemplu, cu ajutorul unei mici oglinzi, zenitul şi orizontul: pe cer senin, zenitul este totdeauna mai întunecat; raportul strălucirilor variază de la 3 la 5 (fotografiile XIX şi XX).

229. Culoarea norilor la răsăritul şi apusul Soarelui

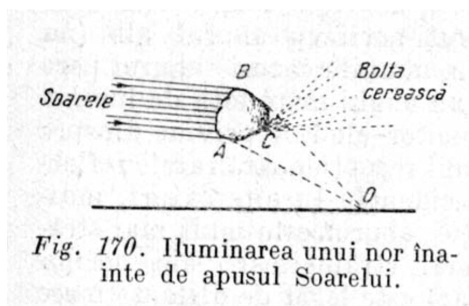


Fig. 170. **Iluminarea unui nor înainte de apusul Soarelui.**

În descrierea apusului de Soare pe care am dat-o în capitolul precedent nu am acordat atenție norilor. Acum vom studia această priveliște excepțional de frumoasă cu bogăția sa nelimitată de culori, cu formele sale atît de variate şi cu aparenta sa lipsă de regularitate. Vrem să ne concentrăm atenția asupra a ceea ce se vede înainte de apusul Soarelui; fenomenele de amurg „veritabile" au fost studiate la § 210. Splendoarea norilor dispare o dată cu apusul Soarelui! Cu puțin înainte de apus, norii sînt iluminați de:

1. Lumina solară directă, care devine succesiv galbenă, portocalie, roşie — în funcție de înălțimea Soarelui.
2. Lumina cerului, portocalie-roşie în direcția Soarelui, albastră în alte direcții. Lumina portocalie-roşie trebuie atribuită difuziei puternice pe particulele mari de praf şi picături de apă, care produce numai o mică deviere a razelor; lumina albastră se explică prin difuzia „înapoi" pe moleculele de aer.

Să ne închipuim un nor lîngă Soare, la început foarte subțire, a cărui densitate creşte treptat. Picăturile sale difuzează lumina sub unghiuri mici, astfel că vălul subțire de nori îndreaptă spre noi destul de multă lumină de la Soare, atunci cînd acesta se află aproape de dreapta care ne uneşte cu norul. Cu cît este mai mare numărul de particule difuzante, cu atît este mai intensă lumina caldă portocalie-roz. Intensitatea luminii creşte însă numai pînă cînd stratul difuzant devine atît de dens sau atît de gros, încît lumina nu mai trece uşor prin el. Norii grei practic nu mai lasă să treacă lumina şi doar reflectă spre noi lumina acelei părți albastre a cerului care îi iluminează din direcția noastră (fig. 170). Aceasta arată că apusurile de Soare cele mai frumoase au loc atunci cînd norii sînt subțiri sau cînd cerul este numai parțial acoperit de nori.

În vest, unde apune Soarele, vedem norii subțiri iluminați din spate şi norii mai groşi sau mai denşi iluminați din față; primii sînt de un portocaliu-roşu strălucitor; ceilalți sînt mai întunecați, de o culoare cenuşie-albastră. Acest contrast de culori, care este deseori legat de deosebiri de formă şi structură, este de o frumusețe rară.

Marginile norilor grei cenuşii-albaştri au adeseori o culoare aurie minunată. Menționăm că marginea A (fig. 170), care pare mai aproape de Soare, străluceşte mai puternic decît marginea 5, deoarece: 1) unghiul de deviere al razelor luminoase este aici mai mic; 2) dacă ne închipuim că norul este complet rotund, în partea apropiată de Soare trebuie să se vadă o bandă îngustă, iluminată direct de Soare.

De-a lungul marginilor acelor nori care sînt mult mai îndepărtați de Soare, această difuzie minunată nu mai este vizibilă; dintr-o parte, ei sînt iluminați de razele directe ale Soarelui, iar din cealaltă parte, de lumina albastră a cerului, astfel încît şi în acest caz apare jocul luminii portocalii şi albastre . Cînd Soarele coboară mai jos, culorile devin mai calde, pînă cînd în partea opusă, la est, apare pe nori purpura luminii crepusculare de răsărit.

După asfințit, lumina Soarelui dispare treptat de pe cer; cel mai îndelungat rămîn iluminați norii înalți. Aceasta produce un alt contrast splendid: în spate, norii încă iluminați de Soare, în fața lor, norii iluminați numai de lumina cerului.

Înseninarea aparentă a cerului în amurg este adeseori numai un fenomen optic. Dacă norii nu mai sînt iluminați de Soare, ci numai de lumina difuzată a cerului, contrastul între nor şi fondul cerului slăbeşte foarte mult şi la o iluminare slabă devine în general aproape neobservabil.

230. Iluminarea norilor de către surse de lumină de pe Pămînt

Plimbîndu-ne seara într-un loc deschis, cînd cerul este complet înnorat, observăm, pe alocuri, în depărtare, lîngă orizont, o lumină slabă; ea este produsă de lumina oraşelor sau a satelor mai mari. După direcția din care vedem lumina, putem determina cărui oraş aparține ea. Să evaluăm în radiani înălțimea unghiulară a a luminii deasupra orizontului şi să determinăm cu ajutorul hărții distanța A pînă la oraşul sau satul respectiv: înălțimea norilor va fi atunci $h = \alpha A$. Am observat, de exemplu, din

Bilthoven lumina deasupra Utrechtului la înălţimea α = 8,5°, de unde h = 790 m, deasupra Zeistului α = 6°, de unde h = 780 m. În 1884, lumina deasupra Londrei putea fi văzută pînă la o depărtare de 60 km. De la ce distanţă se vede ea azi?

Un studiu mai atent al acestei lumini ne va răsplăti eforturile. Vom observa foarte repede că ea variază de la o zi la alta; variabilitatea ei este aproape tot atît de pronunţată ca a aurorei polare. Vom descoperi două componente ale acestui fenomen: 1) o uşoară pîclă luminoasă, produsă de iluminarea aerului cu particulele sale de praf şi umezeală, a cărei intensitate este maximă la orizont; 2) o pată luminoasă pe un strat de nori, a cărei contururi reproduc aproape exact contururile oraşului (care are o formă mai mult sau mai puţin rotundă). De la o distanţă mai mare însă, această pată pare o elipsă cu margini foarte nete, în special dacă stratul de nori este neted.

Dacă cerul este luminos şi senin sau invers, dacă el este foarte înnorat, nu se vede lumina deasupra oraşului. În prezenţa unei piele subţiri se dezvoltă o ceaţă luminoasă, care însă nu este uşor observabilă. Dacă cerul e acoperit cu un strat de nori, vedem clar pata luminoasă. Sînt posibile combinaţii de toate felurile. Uneori se văd umbrele unor nori izolaţi la mică înălţime sau pete luminoase neregulate care se disting pe masa principală de lumină, înălţimea norilor poate fi determinată măsurînd pata luminoasă; rezultate mai exacte se obţin din înălţimea marginilor sale. În mîinile unui observator experimentat, această metodă este atît de precisă, încît îi permite să stabilească dacă stratul de nori urmează sau nu neuniformităţile suprafeţei terestre.

La Cour a încercat să efectueze astfel de observaţii şi ziua. El a observat o dată, după o ninsoare, că stratul de nori era mai întunecat deasupra mării decît deasupra uscatului acoperit de zăpadă. Linia de separare deveni neaşteptat de netă cînd el se îndepărtă atîta, încît înălţimea ei nu depăşea 20° deasupra orizontului. Ulterior, el a constatat că şi deasupra pădurilor se observă pe nori porţiuni întunecate; chiar şi deasupra oraşului Copenhaga, cînd zăpada de pe acoperişuri fusese deja topită, se putea vedea o regiune întunecată de acest gen! Din toate aceste gradaţii luminoase se poate determina înălţimea stratului de nori şi rezultatele concordă între ele.

Cel mai uşor se sesizează diferenţele deasupra uscatului acoperit de zăpadă şi a mării; deci este recomandabil să începem cu aceasta. Fenomene identice sînt faimoasele „reflexii de gheaţă" şi „cerul de apă", care îi previn pe exploratorii polari de apropierea bancurilor de gheaţă.

> „Seara am zărit o lumină interesantă care cuprindea partea de nord a cerului şi era mai intensă la orizont, deşi putea fi urmărită pe întreaga boltă cerească pînă la zenit. Era o semilumină minunată şi misterioasă, ca reflexia unui incendiu uriaş îndepărtat, care aici, în ţara stafiilor, era albă ca o stafie".
>
> (Fr. Nansen, Bohen on Norge, Kristiania, 1914).

Mai puţin cunoscut este faptul că şi nisipul deşerturilor egiptene aruncă pe nori reflexii care pot fi distinse clar de la o anumită distanţă. Deasupra Oceanului Indian, într-un loc unde apa nu era adîncă şi avea culoarea de un verde strălucitor, marea arunca o reflexie verde-deschisă asupra norilor la 300—400 m înălţime. Şi chiar deasupra cîmpiilor cu buruieni, atunci cînd acestea înfloresc şi sînt iluminate de Soare, norii afinaţi care plutesc deasupra se colorează uneori în partea lor de jos într-un purpuriu plăcut.

Odată, s-a observat o pată luminoasă pe un strat de nor omogen; s-a dovedit că aceasta era reflexia luminii solare într-un mic lac îndepărtat. Nu era vînt şi Soarele era aproape de orizont.

231. Factorii care determină culoarea apei[1]

De o varietate infinită, în permanentă mişcare, cu desene asemănătoare marmurii, diferite pentru "fiecare suprafaţă încreţită de apă, aceste figuri minunate ne oferă de fiecare dată o mare satisfacţie...

Să încercăm să le analizăm.

1. O parte din lumina care ajunge la noi din apă se reflectă pe suprafaţa ei; atît timp cît suprafaţa este liniştită, ea acţionează ca o oglindă şi culoarea apei este albastră, cenuşie sau verzuie, în funcţie de faptul dacă cerul este senin sau înnorat, sau dacă malurile joase sînt acoperite cu iarbă. Dacă însă suprafaţa apei este încreţită, culorile cerului şi ale malurilor se amestecă şi reflexiile de culori se suprapun una peste cealaltă. Cînd suprafaţa este foarte agitată, valurile reflectă pur şi simplu amestecul de culori.

[1] Bancroft, „Journ. Franklin Inst.", 187, nr. 3,1919; M. Pollock, Light and Water, London, 1903; V. Aufsess, „Ann. d. Phys.", 13, 678, 1904; C. V. Raman, „Proc. Roy. Soc.", 101, 64, 1922; Şuleikin, „Phys. Rev.", **22,** 85, 1923; Hulbert, „J. Optic. Soc. Amer.", 35, 698, 1945.

„Ceea ce considerăm, de obicei, o suprafață monocoloră este în realitate rezultatul combinării unei infinități de nuanțe care se întind, adeseori în fîșii pe distanțe mari; și chiar impresia pe care ne-o formăm despre suprafața însăși depinde în mare măsură de aceste nuanțe multiple, a căror mișcare continuă îngreuiază analiza lor și înțelegerea cauzelor care le generează".

(Ruskin, Modern Painters)

2. O altă parte a luminii pătrunde în apă și este difuzată acolo de particulele de praf. Aceste particule sînt de obicei atît de mari, încît difuzează uniform toate razele, astfel încît lumina emisă are aceeași culoare ca și cea incidență; dacă există particule de nisip sau de lut, lumina emisă poate avea o nuanță cafenie, într-o apă foarte adîncă și curată, o mare parte a luminii este difuzată de înseși moleculele de apă, căpătînd astfel aceeași "culoare albastră plăcută ca și cerul sau un bloc mare de gheață dintr-un ghețar.

3. Într-o apă puțin adîncă, o parte din lumină atinge fundul și suferă acolo o reflexie difuză, căpătînd totodată culoarea fundului.

4. Pe drumul lor prin apă, razele de lumină suferă modificări permanente: a) din cauza difuziei, se pierde o parte din intensitatea lor; în apa curată sînt slăbite mai ales razele violete și albastre (§ 189); b) din cauza absorbție în apă, care devine apreciabilă deja la o adîncime de cîțiva metri, se pierd razele galbene, portocalii și roșii, ca și la trecerea luminii printr-o sticlă colorată.

Difuzia există întotdeauna, chiar și în apa cea mai curată, deoarece moleculele din apă sînt distribuite neuniform, ceea ce produce neomogenitatea și o oarecare „granu-lozitate" a apei; în afară de aceasta moleculele nu au o formă sferică regulată. Difuzia în apă poate fi comparată în toate privințele cu difuzia în aer; și ea variază proporțional cu $1/\lambda^4$ fiind, prin urmare, mai intensă pentru razele albastre și violete, într-o apă mai puțin curată există particule în suspensie. Dacă ele sînt foarte mici, acțiunea lor se suprapune peste acțiunea moleculelor și provoacă o difuzie albastră-violetă. Dacă sînt mai mari de aproximativ 0,001 mm, ele difuzează toate culorile în aceeași măsură și în special „înainte" (§ 189).

Apa de săpun, obișnuită este un exemplu bun de lichid care conține particule difuzante foarte mici. Iluminată din față, ea pare albăstruie pe un fond întunecat, iar în lumina transmisă ea pare portocalie (vezi § 188).

Absorbția în apa rîurilor și a lacurilor trebuie atribuită în special combinațiilor chimice ale fierului (ionul Fe^{+++}) și acizilor humici. La o concentrație a fierului de l la 20 milioane părți apă și a acizilor organici humici de l la 10 milioane părți apă (așa cum se întîlnește în natură), apa ar trebui să aibă culori mai pronunțate decît se observă în realitate. Probabil că sub acțiunea luminii, combinațiile care conțin Fe^{+++} oxidează acizii humici, transformîndu-se în combinații de Fe^{++}. Acestea din urmă se combină din nou cu oxigenul, devenind iar o combinație de Fe^{+++} etc.

Vom da acum cîteva exemple care demonstrează cum contribuie diverșii factori la culoarea apei.

232. Culoarea băltoacelor de la marginea drumurilor

Un exemplu simplu îl constituie băltoacele care se formează pe străzi după ploaie. Dacă unghiul sub care privim băltoaca este mare, reflexia este aproape regulată, iar obiectele reflectate sînt bogate în contraste: ramurile negre sînt într-adevăr negre. Dacă privim acum din ce în ce mai oblic, imaginea devine din ce în ce mai slabă (§ 60), ni se pare că ea este acoperită de o pîclă -fină. Culorile pălesc și, ceea ce este și mai surprinzător, părțile întunecate nu mai par întunecate, ci cenușii. „Pîcla este creată de lumina care cade pe băltoacă din toate părțile, pătrunde în apă și este difuzată în toate direcțiile. Dacă apa este tulbure, difuzia este provocată de particulele de praf în suspensie; dacă apa este colorată, de exemplu în albastru, lumina difuzată devine albă-albăstruie și această culoare se amestecă cu imaginea. Dacă apa este curată, iar fundul este luminos, ca în băltoacele cu apă de mare pe plaja de nisip, toate imaginile reflectate capătă culoarea nisipului; cînd privești aproape perpendicular, vezi fundul și imaginea obiectelor celor mai strălucitoare. Dacă apa este curată, dar fundul este întunecos, imaginea rămîne clară și plină de contraste, deși mai puțin strălucitoare, chiar și într-o direcție de observație aproape perpendiculară, într-o apă liniștită și întunecată, imaginea frunzișului copacilor pare uneori mai frumoasă și mai clară decît însuși frunzișul! Acest efect psihologic se explică în primul rînd prin acțiunea de orbire mai redusă a fondului înconjurător.

Rugați pe cineva să stea la diferite distanțe de apă și urmăriți cum se modifică imaginea sa. Experiența reușește deosebit de bine cînd o efectuăm la malul mării.

Prin aceste exemple „mici" am dezvăluit cauza pentru care obiectele care se află sub nivelul mării (stînci, submarine etc.) se zăresc mai ușor din avion decît de pe o corabie.

„Fără îndoială, peisajul dintr-un iaz său o băltoacă de pe șosea nu este mai puțin bogat decît cel de deasupra lor. El nu este, așa cum ne-am aștepta, ceva

cafeniu, tulbure, întunecat; acolo există tot atîta suflet ca în noi înşine; pe fundul apelor găsim şi crengile copacilor înalţi, şi firele de iarbă care foşnesc, şi bogăţia culorilor schimbătoare ale cerului".

(Ruskin, Modern Painters)

233. Culoarea rîurilor şi canalelor (fotografia XXII)

Ondulaţiile de pe suprafaţa apei provoacă multitudinea veşnic schimbătoare a culorilor oricărui canal sau şanţ cu apă (§ 17—26). Pentru a stabili dacă o porţiune oarecare a suprafeţei este încreţită, trebuie să o privim din diferite direcţii. Ondulaţiile uşoare devin vizibile numai de-a lungul graniţei dintre o imagine luminoasă şi una întunecată; în imaginea cerului uniform de albastru ele nu pot fi văzute, cel mult doar în imaginea unei păduri întunecate. Ondulaţiile puternice ale apei fac să apară dungi de lumină şi umbră chiar şi în mijlocul imaginilor unor regiuni mari uniforme, fie din cauză că ele deviază puternic razele de lumină, fie din cauză că coeficienţii de reflexie pe partea anterioară şi cea posterioară a undei devin sensibil diferiţi (vezi fig. 173).

Observaţiile arată că graniţa dintre suprafaţa încreţită a apei şi cea liniştită se conturează aproape întotdeauna cu o claritate uimitoare. Aceasta nu trebuie atribuită distribuţiei curenţilor de aer; cînd plouă şi întreaga suprafaţă a apei este antrenată în vibraţii uniforme, limita de separare se vede ca şi înainte foarte clar. Cauza reală constă în prezenţa unei pături foarte subţiri de ulei, care nu atinge nici o milionime de milimetru în grosime (2 molecule de ulei!), dar care este suficientă pentru a netezi încreţirea datorită vîntului sau ploii. Această peliculă se formează din resturi de substanţe animale şi vegetale, din uleiul vapoarelor şi reziduurile apelor de scurgere. Vîntul alungă stratul de ulei într-o parte a canalului. Veţi observa întotdeauna că apa este încreţită în partea dinspre care bate vîntul şi este liniştită în partea opusă. În zona liniştită a apei plutesc nuiele şi frunze, care însă aproape că nu se deplasează una faţă de cealaltă, fiind ţinute pe loc de pelicula de ulei! Prin aceasta se explică şi deosebirea uimitoare dintre suprafaţa vie, scînteietoare a unui pîrîu de munte şi apa plumburie, parcă vîscoasă, a bazinelor din cartierele mărginaşe ale oraşelor mari.

Să continuăm observaţiile asupra fenomenelor luminoase de la suprafaţa apei, studiind cum rivalizează reflexia cu lumina care provine din adîncime. Stăm sub copaci la malul apei. Ici-colo vedem imaginile vîrfurilor copacilor şi între ele petele strălucitoare ale cerului albastru. În locurile unde se reflectă cerul senin nu vedem fundul, deoarece lumina din adîncime este relativ slabă. În locurile unde se reflectă copacii întunecoşi, vedem un amestec întunecat de culori, care se formează din culorile frunzişului, ale fundului apei şi din lumina difuzată de particulele de praf din apă. Imaginea chilei întunecate a unei bărci are culoarea verzuie a apei însăşi, în timp ce banda strălucitoare albă a bărcii rămîne albă.

Convingeţi-vă că puteţi vedea fundul apei numai aproape de mal. Dacă priviţi apa de la oarecare distanţă, nu mai reuşiţi să vedeţi fundul, chiar dacă el nu este mai adînc în acel loc. Aceasta se explică prin faptul că, la un unghi de incidenţă mare, lumina reflectată devine mai puternică şi predomină faţă de lumina din adîncime.

Cu cît Soarele este mai sus, cu atît se reflectă mai puţină lumină pe suprafaţă şi cu atît mai multă pătrunde în adîncime. În consecinţă, creşte cantitatea de lumină difuzată în adîncime, într-o zi senină, cînd Soarele stă sus pe cer, observăm deseori că apa iazului este parcă iluminată dinăuntru.

„Culoarea apei iluminată de Soare este de obicei mai intensă şi, după cum am văzut, influenţează mult imaginile întunecate, atenuînd culorile lor. În umbră, puterea de reflexie este mult mărită[1] şi de cele mai multe ori formele umbrelor pe suprafaţa apei sînt determinate nu de însăşi umbra, ci mai curînd de reflexia obiectelor aşezate deasupra apei. O apă foarte tulbure (de exemplu, fluviul Arno la Florenţa), iluminată de Soare, parc a avea o culoare galbenă specifică, care decolorează şi slăbeşte toate imaginile[1]. în amurg, puterea sa reflectantă se reface complet şi imaginea munţilor Carrara se vede în apă tot atît de clar ca şi cum s-ar reflecta într-un lac de o puritate de cleştar"[2].

(Ruskin, Modern Painters)

Există cîteva metode simple de eliminare a reflexiei pe suprafaţă.

1. Putem ţine deasupra capului o umbrelă neagră.

---

1 Esenţa fizică a fenomenului constă în aceea că puterea reflectantă este riguros aceeaşi atît în umbră, cît şi la Soare, însă raportul lumina reflectată lumina difuzată în adîncime este mai mic la Soare şi mai mare în umbră.

2 Explicaţia noastră: în amurg, lumina vine dintr-o anumită direcţie bine determinată şi iluminarea generală, care producea lumina difuzată în apă şi care se suprapunea peste toate imaginile reflectate, scade mult. În afară de aceasta, razele Soarelui sînt atît de înclinate, încît abia pătrund în apă.

2. Putem face observațiile stînd sub un pod. Pe vreme însorită, veți vedea cum iese din apă lumina difuzată de un galben-verde minunat, încrețiturile apei pot fi văzute acum numai datorită refracției luminii. Ni se pare că obiectele sub apă se leagănă ușor, iar apa devine asemănătoare gelatinei.
3. Țineți sub apă o mică oglindă (fig. 171), înclinînd-o sub diferite unghiuri, astfel încît să vă puteți da seama de culoarea luminii care pătrunde în apă de sus, după ce a parcurs în apă o anumită distanță. Dacă efectuați experiența într-o apă de șanț obișnuită, puteți vedea culoarea galbenă a razelor, determinată de absorbția reală, într-o apă puțin adîncă putem folosi, în același scop, un ciob de porțelan alb pe fundul șanțului sau o foaie de hîrtie albă ținută sub apă. La mare se folosește un disc alb care se scufundă la o anumită adîncime, însă aceasta nu mai este o experiență atît de simplă.
4. Folosiți un telescop de apă. Acesta este un tub subțire simplu, închis la un capăt, dacă e posibil, cu o placă de sticlă (fig. 171). Cu ajutorul lui putem studia culoarea luminii care vine de jos în urma difuziei pe fund sau pe particulele de praf suspendate. Folosiți telescopul de apă în timp ce faceți baie! Pe vasele de construcție mai vechi există țevi verticale în toalete care duc pînă în apă: acestea sînt adevărate telescoape de apă de dimensiuni mari! 5. Priviți printr-un nicol, rotindu-1 astfel încît să elimine lumina reflectată (§ 238).

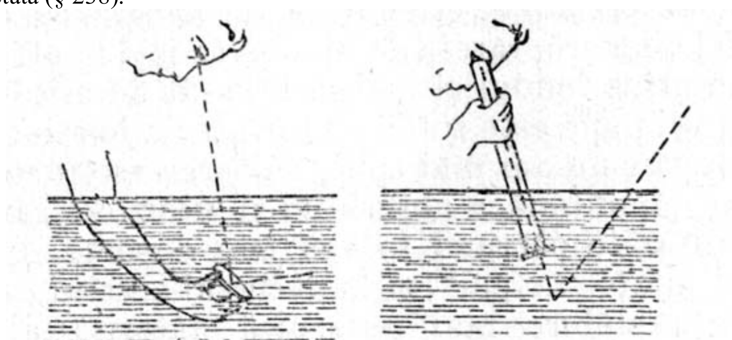


Fig. 171. Observarea culorii apei, eliberată de influența reflexiei superficiale.

234. Culoarea mării

Culoarea mării este determinată în primul rînd de reflexia pe suprafața ei. Dar suprafața mării trăiește, se mișcă, se agită, se acoperă cu valuri în funcție de vînt și de forma malurilor, așa încît reflexia apare într-o diversitate de moduri.

Regula principală este următoareă: imaginile îndepărtate sînt deplasate spre orizont, din cauză că noi vedem crestele valurilor îndepărtate (§ 20). De aceea, culoarea mării în depărtare este aproximativ aceeași ca și a cerului la înălțimea de 20—30°și este, prin urmare, mai întunecată decît cerul la orizont (§ 195); aceasta este cu atît mai adevărat, cu cît se reflectă numai o parte din lumină.

În afară de aceasta, marea mai are și „propriăei culoare": culoarea luminii difuzate în adîncimea ei. Din punctul de vedere al opticii, factorul cel mai important care caracterizează marea este adîncimea ei. Adîncimea mărilor este atît de mare, încît lumina care atinge fundul nu se mai întoarce practic înapoi. De aceea „culoarea proprie a mării" este determinată de acțiunea simultană a difuziei și absorbției maselor de apă. O mare în care lumina ar fi numai difuzată, ar trebui (dacă nu ne referim la reflexie) sa pară albă, lăptoasă, deoarece întreaga lumină care pătrunde în ea iese din nou pînă la sfîrșit. Marea în care ar avea loc numai absorbție ar trebui sa fie neagră ca cerneala: într-o astfel de mare, razele de lumină ar ieși în afară numai după ce au atins fundul și o absorbție cît de mică pe acest drum lung prin apă este suficientă pentru a le stinge.

Însă, după cum am mai spus, culoarea este determinată de acțiunea simultană a absorbției și difuziei: razele care sînt slab difuzate pătrund în apă mai departe, înainte ca ele să fie difuzate „înapoi", și în decursul acestui drum lung ele suferă o slăbire mai puternică datorită absorbției. În general, putem considera că cantitatea de lumină care se întoarce din adîncime este proporțională cu raportul coeficientul de difuzie / coeficientul de absorbție.

Teoria completă nu este însă atît de simplă. O experiență simplă ne permite să explicăm cum apare culoarea mării. Umpleți o pungă din material plastic negru cu un lichid transparent albastru.

Acesta va reprezenta marea atît de adîncă încît nu vedem fundul ei. În acest caz, marea pare de un negru de nepătruns. Turnaţi acum în pungă un lichid tulbure, de exemplu lapte diluat. Veţi observa de îndată culoarea albastră-deschisă a lichidului. Această experienţă poate fi efectuată şi cu o sticla albastră, aşezînd-o succesiv pe hîrtie neagră şi albă.

Influenţa directă a fundului mării asupra culorii apei nu mai poate fi observată în mările noastre cînd adîncimea lor este mai mare de l m. Ruskin afirmă totuşi că şi la adîncimi de 100 m fundul influenţează puternic culoarea mării; afirmaţii asemănătoare pot fi auzite şi de la marinari. De fapt ridicaturile locale ale fundului mării modifică forma valurilor şi a încreţiturilor la suprafaţă; totodată, aici sînt, evident, mai multe particule solide care măresc difuzia decît în locurile mai adînci. Astfel, fundul mării exercită, într-adevăr, o oarecare influenţă asupra culorii apei, însă nu în mod direct.

La ţărm, unde marea are o culoare verde minunată, putem vedea deseori cum stîncile întunecate şi algele marine par gă strălucească sub apă într-o lumină purpurie uimitoare.

Aceasta nu este însă decît manifestarea contrastului simultan de culori. Ochiul este deosebit de sensibil faţa de acest contrast, datorită faptului că apa care difuzează lumina acoperă toate obiectele cu un văl transparent.

Recent în Canalul Mînecii s-au efectuat studii asupra particulelor suspendate care difuzează lumina. Numărul lor creşte cu adîncimeă; în fiecare metru cub din straturile superioare se află în total 0,3 cm^3 de organisme microscopice şi aproximativ aceeaşi cantitate de particule minerale, în special argilă, bucăţi de lemn, fibre minuscule, resturi de scoici, particule de funingine. Particulele mai mici de 0,1 μ practic lipsesc. Particulele au fost chiar numărate cu ultra-microscopul.

235. Lumina şi culoarea în Marea Nordului

Observaţiile descrise mai jos au fost efectuate în timpul unei vacanţe petrecute în Olanda pe litoralul plan şi nisipos care se întinde practic de la nord spre sud. Aici se puteau vedea minunate apusuri de soare deasupra mării. Desigur, fenomenele erau distribuite în mod diferit în cursul zilei pe porţiunile diferit orientate ale ţărmului; un factor esenţial era şi poziţia Soarelui faţă de suprafaţa mării.

1. Acalmie; cer albastru

Dis-de-dimineaţă, în zilele liniştite, marea este netedă ca o oglindă. Cerul complet senin este acoperit de o ceaţă subţire. Micile vîrtejuri de la picioarele noastre, la marginea apei, lasă o bandă îngustă de spumă, care apare şi dispare continuu. Domneşte linişte...

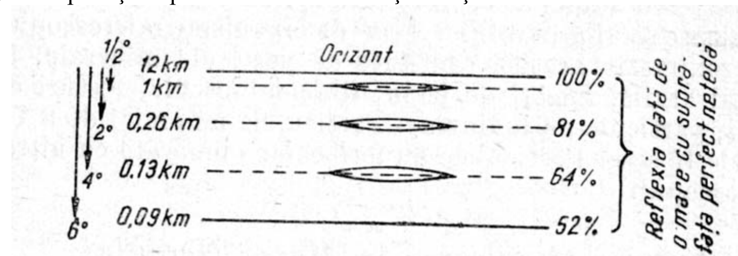


Fig. 172. Cum vedem marea de pe o dună de 10 *m*. Elipsele ne arată cum apare un cerc în diferite puncte ale suprafeţei mării, datorită efectului de perspectivă.

Să ne urcăm pe o dună. Suprafaţa mării se întinde în faţa noastră ca o hartă. Unele porţiuni ale ei sînt atît de netede, încît reflectă perfect cerul cenuşiu-albastru, altele, tot cenuşii-albastre, par mai întunecate. Marginile suprafeţelor se văd atît de clar, iar înseşi porţiunile sînt atît de reliefate, încît este greu să te abţii să nu le desenezi, însă după un timp relativ scurt, toate îşi schimbă complet poziţia. De aici rezultă că suprafeţele mai luminoase nu pot fi „bancuri de nisip", cum le numesc de obicei turiştii; apariţia lor se explică prin existenţa unei pelicule invizibile, extrem de subţire, de ulei pe suprafaţa mării (asemănătoare cu aceea despre care a fost vorba la § 233), suficientă pentru a netezi încreţirile de pe suprafaţa apei. Această peliculă de ulei este lăsată, pare-se, de vapoare; ea provine, probabil, din combustibilul ars. Acolo unde ea nu există, apa este uşor încreţită. Această încreţire devine vizibilă mai tîrziu, cînd Soarele se ridică pe cer şi o face să strălucească şi să scînteieze. Acum culoarea acestor porţiuni este mai întunecată, în primul rînd pentru că frontul fiecărei „încreţiri" reflectă o parte mai înaltă şi, prin urmare, şi mai întunecată a cerului, şi în al doilea rînd, pentru că traiectoria razelor este aici mai puţin „razantă" şi ele sînt mai slab reflectate. Privite printr-un nicol sau polaroid (dacă planul de vibraţie este vertical), părţile întunecate par mult mai întunecate şi diferenţa între ele şi părţile mai luminoase devine mai pronunţată. Faptul că marginile diferitelor părţi par peste tot paralele cu ţărmul se explică prin contracţia de perspectivă; în realitate, regiunile acoperite de pelicula de ulei pot avea orice formă (fig. 172). Puţinele bancuri de nisip reale pot fi ghicite după culoarea lor mai galbenă, însă

numai acolo unde adîncimea este foarte mică, de la 10 pînă la 20 cm.

Scăldîndu-ne la amiază, vom fi miraţi de transparenţa neobişnuită a apei mării liniştite. Pînă la o adîncime de i m vedem clar toate amănuntele pe fund şi chiar mici substanţe plutitoare. În apă nu există particule de nisip, cel mult acolo unde se sparg valurile, ridicînd mici nori de nisip. Dacă privim în apă de sus în jos, reflexia cerului va fi mult slăbită şi culoarea galbenă a fundului de nisip va predomina pînă la o adîncime de 20 cm. La adîncimea de 1 pînă la 1,5 m, culoarea devine de un verde plăcut, dar aici trebuie sa improvizăm cu ajutorul mîinilor ceva asemănător cu un telescop de apă, pentru a evita reflexia cerului (§ 233). Această culoare verde aparţine luminii care a pătruns în apă şi a fost difuzată înapoi, îndată ce ne uităm însă la suprafaţa mării ceva mai departe, reflexia începe să predomine şi vedem peste tot cerul albastru reflectat. Este încîntătoare această combinaţie a verdelui mării cu albastrul cerului!

Seara, la o înălţime de cîteva grade deasupra orizontului, Soarele se ascunde după un strat de nori albaştri-cenuşii. Deasupra lor se întinde amurgul portocaliu-auriu, iar şi mai sus se vede trecerea spre albastrul întunecat al serii. Marea, încă liniştită, reflectă totul fără deformaţii. Dacă însă privim spre apus, distingem o uşoară hulă (§ 21), iar în depărtare, unde se reflectă şirul întunecat de nori, fiecare val al hulei formează o mică linie portocalie-galbenă (unda înclinată reflectă o parte mai înaltă a cerului). Mai aproape de noi, acolo unde marea este portocalie-galbenă, valurile, reflectînd partea mai înaltă şi mai întunecată a cerului, dă o haşurare mai întunecată. În nord-vest şi în sud-vest, unde nu se vede amurgul şi privirea noastră nu este perpendiculară la înclinarea undelor, marea reflectă, ca şi înainte, şirul omogen de nori, fără să modifice culoarea şi strălucirea lor. Linia orizontului dispare aici, marea şi cerul se contopesc, şi vasele care plutesc în depărtare par să dispară în infinitul albastru-cenuşiu.

Cîteva zile mai tîrziu, cînd vremea frumoasă se restabileşte şi vîntul devine mai slab, seara regiunile mării acoperite de pelicula subţire de ulei pot fi văzute reflectînd şirurile de nori albaştri-cenuşii, în timp ce porţiunile încreţite reflectă, din cauza deplasării imaginii, cerul galben-portocaliu.

2. Vînt slab, cer albastru senin, cîţiva nori izolaţi

Dimineaţa, încă înainte de-a ajunge pe vîrful dunei, mă uimeşte contrastul dintre marea neagră-albăstrie şi cerul luminos la orizont. Vizibilitatea este excelentă, orizontul şi obiectele îndepărtate se conturează foarte clar şi aceasta continuă toată ziua. Dinspre apus adie un vînt uşor; de-a lungul ţărmului se sparg în două-trei rînduri valurile înspumate, în largul mării spuma nu se vede. Ne luăm în primire postul de observaţie pe dună.

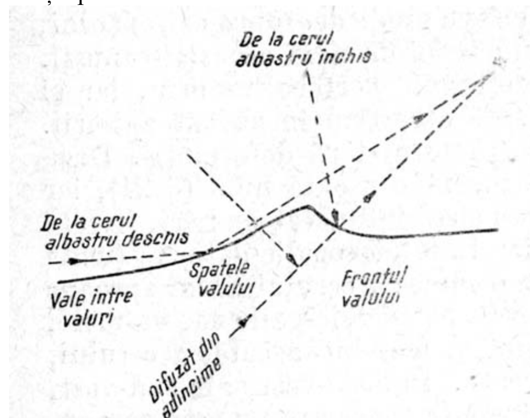


Fig. 173. Iată cum apar diferitele culori într-un val.

Să urmărim cîte un talaz (fig. 173). Din faţă el este cenuşiu-întunecat, cu o nuanţă galbenă-verde: privirea noastră întîlneşte frontul valului aproape sub un unghi drept; prin urmare, în ochiul nostru ajunge foarte puţină lumină reflectată, şi aceea de la părţile întunecate ale cerului. Vedem totuşi o lumină galbenă-verde, care fie că este difuzată înapoi în adîncimea mării, fie că pătrunde prin „spatele" undei şi iese prin faţă; însă lumina aceasta este foarte slabă, aşa încît frontul undei ni se pare întunecat. Pe de altă parte, „spatele" undei reflectă cerul albastru deschis de la orizont. În felul acesta undele prezintă un contrast încîntător între galben-verdele întunecat al frontului şi albastru deschis al „spatelui". Între valuri, crestele din spate se continuă în văi plane uşor încreţite care reflectă bine şi care par şi ele albastre. De-a lungul ţărmului se pot observa cîteva bancuri de nisip care se disting uşor datorită valurilor care se sparg în jurul lor într-un mod caracteristic; între bancuri, marea este mai liniştită şi mai netedă. Mai departe de ţărm, „haşurarea" valurilor devine din ce în ce mai fină. Aici nu mai sînt creste, însă contrastul dintre front şi spate se menţine. Dacă privim mai departe de-a lungul

suprafeței apei, nu mai vedem văi între valuri şi pînă la urmă dispar şi contrastele întunecate. Fronturile apar acum mult mai puțin abrupte şi ele reflectă în special cerul la înălțimea de circa 25°. Tocmai acestei „deplasări a imaginilor reflectate" i se datorează atît culoarea albastră-închisă a mării cît şi contrastul dintre mare şi cer la orizont. Contrastul este azi atît de puternic, pentru că la orizont cerul este foarte luminos, dar deja la o înălțime foarte mică el capătă o culoare albastră profundă. Verificați aceasta, proiectînd imaginea unei părți mai ridicate a cerului, cu ajutorul unei mici oglinzi, în vecinătatea orizontului; veți fi uimiți! Remarcați totodată că la distanță, marea este mult mai întunecată decît părțile cele mai întunecate ale cerului. Coeficientul de reflexie al suprafeței mării este mult mai mic de 100%.

Contrastul dintre mare şi cer este mai puternic în apus şi devine mai slab la nord şi la sud. Aceasta se explică prin faptul că cea mai mare parte a valurilor vine de la apus; rînd privim spre nord sau spre sud, privirea noastră este aproape paralelă cu crestele valurilor şi acțiunea lor se manifestă mai slab (§ 21).

S-ar putea să aveți îndoieli asupra faptului dacă contrastul puternic dintre mare şi cer este produs numai de creşterea rapidă a strălucirii cerului la orizont. Natura vă va convinge. La un moment dat, o parte din cerul dinspre apus este acoperit de un strat de nori cirrus, astfel că pînă la înălțimea de 30° cerul devine de un alb uniform; în această direcție, contrastul dintre cer şi mare dispare brusc şi marea devine mult mai verde şi mai luminoasă, îndată ce norii cirrus dispar, contrastul se restabileşte.
Faptul că reflexia determină în mare măsură culoarea mării nu trebuie să ne facă să neglijăm ceilalți factori. Ici-colo vedem umbrele unor nori izolați. În umbră, marea este mai întunecată, în Soare, ea pare să aibă culoarea nisipului. Parțial acesta este un fenomen de contrast. Dacă priviți prin pumnul strîns pe jumătate sau prin orificiul nigrometrului (§ 193), veți vedea că şi în locurile luminate marea este albastră, deşi mai puțin albastră decît în porțiunile umbrite[1]. În toate cazurile umbrele arată clar că culoarea mării nu este determinată numai de reflexie; o parte a luminii este difuzată înapoi din adîncime. Umbra devine vizibilă din cauză că lumina difuzată înapoi este aici mai slabă decît în alte locuri, în timp ce lumina reflectată nu este slăbită (§ 233).

Străbate oare prin apă strălucirea nisipului de pe fund şi putem oare detecta astfel de lă distanță bancurile de nisip? După experiența mea personală, nu — cel puțin dacă privim bancurile de pe dune sau de pe mal. Nisipul poate fi văzut numai dacă adîncimea este foarte mică, aproximativ de 10—20 cm. Poziția bancurilor poate fi determinată observînd valurile brizante şi spatiile mai liniştite dintre ele (§ 234).

Este suprinzător că marea are adeseori la orizont o marine care trece din cenuşiu în albastru (sau din albastru deschis în albastru închis); lățimea ei nu depăşeşte o jumătate de grad. Ea începe să dispară cînd coborîm de pe dună spre țărm şi nu se vede de loc de pe malul apei. Aşadar, acesta nu este un fenomen de contrast (§ 104). El se explică, probabil, prin aceea că marea este relativ întunecată şi ca urmare a difuziei în aer (§189) capătă o nuanță albăstruie la distanță[2]. Se poate presupune, de asemenea, că marea trebuie să fie mai puțin tulbure la o distanță atît de mare de țărm; o apă atît de curată se distinge clar cu condiția să ne situăm destul de sus pentru a o observa.

Mai tîrziu, Soarele se deplasează şi după-amiază vedem mii de scînteieri în direcția de unde el străluceşte. Noi nu vedem imaginea reflectată a Soarelui însuşi, pentru că privirea noastră alunecă prea aproape de suprafața apei; vedem numai o parte din dîra luminoasă infinită, pe care Soarele o lasă pe suprafața unduită neregulat. Marea devine în direcția aceasta de un cenuşiu deschis, aproape alb.

După apusul Soarelui, marea reflectă în vest amurgul strălucitor şi vălul auriu al norilor cirrus; suprafața ei mişcătoare, amestecînd imaginile, ne arată culoarea medie a părții de apus a cerului. Spre nord şi sud, unde culorile cerului sînt mai şterse, culoarea mării este şi ea mai puțin strălucitoare. Privirea noastră este din nou şi din nou atrasă de măreția culorilor din apus. Printre norii aurii apar, ici-colo, pete minunate de cer albastru, care se remarcă deosebit de clar din cauza contrastului. Culoarea cerului devine treptat portocalie, marea urmează cerul, iar spuma talazurilor pare, din cauza contrastului, violetă. În fața noastră, în primul plan se află o fişie de nisip umed în care se reflectă în mod regulat (fără nici un fel de deplasări) o anumit;! parte a cerului, la început de un albastru minunat, iar apoi de un verde gingaş. În sfîrşit, norii cirrus din apus dispar, culoarea lor devine violetă-închisă, marea de asemenea, iar printre aceste tonuri paşnice ale serii se distinge fişia portocalie caldă a nisipului umed de pe țărm.

3. Începe sa sufle un vînt puternic,

Valurile pe suprafața mării sînt acoperite de spumăi, de-a lungul țărmului se ridică patru-cinci

---

[1] Culoarea albastră cea mai plăcută o are marea atunci cînd este complet liniştită, cerul albastru-straalucitor, iar Soarele este acoperit astfel de nori, încît marea este învăluițaa în umbră.

[2] Această margine se vede clar şi în zilele cînd cerul este uniform cenuşiu, vîntul potrivit şi marea întunecată.

benzi de spumă.

Vîntul de sud-vest goneşte valurile din faţa sa. Marea este tot atît de cenuşie ca şi norii, doar ici-colo se vede o nuanţă verzuie. În apropiere de ţărm se văd valuri izolate şi devine clar că culoarea verzuie este legată de fronturile lor care reflectă puţină lumină, însă în acelaşi timp emit lumina cenuşie-verzuie difuzată din adîncime. Apa pare foarte tulbure, — în ea sînt suspendate o mulţime de particule de nisip. Culoarea cea mai întunecată o are marea în sud-vest, de unde suflă vîntul; înspre sud, şi mai ales spre nord, culoarea ei devine mai deschisă, apropiindu-se de culoarea cenuşie a cerului, deşi rămîne ceva mai întunecată decît aceasta din urmă (acum privim paralel cu valurile). În apropiere de orizont, marea este mai albastră; aceasta este şi culoarea norilor întunecaţi de jos, care se datoreşte difuziei pe distanţe atît de mari (deasupra capului nostru ei sînt, ca de obicei, de un cenuşiu deschis sau închis). Fîşia albastră de la orizont se vede şi ea (vezi punctul precedent). Acolo unde pe cerul cenuşiu există întîmplător un nor întunecat, se observă pe suprafaţa mării o imagine deplasată şi difuză de un albastru-cenuşii închis. Orizontul nu se conturează clar nicăieri, în special spre sud şi nord norul de apă ridicat în aer de spuma talazurilor limitează vizibilitatea la cîţiva kilometri, marea şi aerul par să se contopească la o anumită distanţă.

Cînd se înseninează şi suflă un vînt din nord-vest, se vede ceva asemănător cu imaginea descrisă mai înainte, numai că cerul pare ca un haos de pete albastre, de nori albi iluminaţi de Soare (cu o nuanţă galbenă-deschisă din cauza perspectivei aeriene, § 40) şi de mase colorate în albas-tru-închis. În toate direcţiile, marea reflectă în medie culoarea cerului la o înălţime de la 20 la 30°. În această reflexie se disting numai masele mari şi, în special, norii iluminaţi de Soare, care aruncă această lumină asupra mării întunecate şi neliniştite.

4. Furtuna

Marea este încă ascunsă în dosul dunelor şi caselor, dar se şi aude vuietul ei. De pe ţărm văd talazurile înspumate, peste două treimi din mare este acoperită de o spumă clocotitoare, albă pe creste, albă-murdară şi fărîmiţată în văile dintre valuri. Ca de obicei, fronturile valurilor sînt mai întunecate la apus decît la sud sau nord şi din cauza aceasta, priveliştea spre apus pare şi mai sălbatică, şi mai bogată în contraste. În largul mării, din apa întunecată se ridică creste de spumă. Departe, în sud, iese clar în relief o fîşie iluminată de Soare, orbitor de albă pe suprafaţa acoperită do spumă. La început, ea este foarte îngustă şi lungă; apoi, apropiindu-se treptat, ocupă o suprafaţă tot mai mare. În locurile unde nu există spumă şi marea iluminată de Soare reflectă nori mai întunecaţi, culoarea nisipului iese foarte clar în evidenţă. În asemenea condiţii de iluminare, lumina difuzată înapoi din adîncimea mării este deosebit de puternică, cu atît mai mult cu cît valurile zbuciumate ridică o mare cantitate de nisip. Pe cerul alocuri foarte întunecat, alocuri mai luminos se văd cîteva „luminişuri" albastre. Imaginile deplasate se mai văd încă, deşi foarte neclar, pe fondul mării. Peste toate predomină spuma.

Observaţi iluminarea şi culoarea mării în diverse condiţii de vînt şi de nebulozitate. Comparaţi culorile unui ţărm stîncos cu cele ale unui ţărm nisipos.

Observaţi culoarea mării în timpul cînd faceţi baie; priviţi valurile nu numai înspre largul mării, dar şi înspre mal; găsiţi umbrele celorlalte persoane care fac baie şi umbra voastră proprie. Folosiţi un telescop de apă.

Dacă aveţi ocazia să vă plimbaţi de-a lungul cheiurilor unui port, comparaţi apa liniştită între două cheiuri cu marea dinafară portului. Cerul este acelaşi, deosebirile apar din cauza diferenţelor în ceea ce priveşte starea de agitaţie sau turbulenţă a apei.

Observaţi strălucirea generală a suprafeţei mării seară tîrziu şi noaptea. Este timpul cel mai potrivit, deoarece nu există diferenţe de culori care să complice observaţiile şi detaliile nesemnificative nu ne distrag atenţia.

Feriţi-vă de fenomenele de contrast! Pentru a compara între ele diferite porţiuni ale cerului şi mării, puteţi folosi cu succes o oglindă mică. Ţineţi mîna sau un alt obiect întunecat între cîmpurile comparate A şi B; astfel vom vedea A şi B ca şi cum ar mărgini acelaşi cîmp. Folosiţi nigrometrul!

Nu confundaţi umbrele şi imaginile reflectate ale norilor; ele se află situate în locuri cu totul diferite. Cînd pe cer se observă nori izolaţi, distribuţia generală a luminii şi umbrei pe mare depinde de combinaţia între reflexii şi umbre.

236. Culoarea mării observată de pe vapor

În comparaţie cu situaţia de pe ţărm, aici avem o deosebire substanţială: lipsesc valurile care se sparg de coastă. Aceasta face ca întreaga privelişte din jurul observatorului să fie mult mai simetrică. Simetria este însă perturbată de vînt, care dă o anumită direcţie valurilor, de fumul vapoarelor, care apare ca un nor întunecat, de spuma din dîra lăsată de mişcarea vaporului şi de Soare.

Lumina care vine din adîncime se vede cel mai bine la partea din spate (pupa) vasului; din apă se ridică neîncetat pe suprafaţă un nor de bule de aer. Apa are o tentă plăcută albastră-verzuie, ca aceea

reflectată de pîntecele albe ale delfinilor care roiesc în jurul vasului sau de o piatră albă aruncată în apă. Această culoare poate fi văzută în toate oceanele, indiferent de faptul dacă marea, în ansamblu, este verde sau violetă.

De fiecare dată cînd observăm un obiect alb la mică adîncime sub apă, sîntem tentaţi să spunem că vedem „culoarea apei". Ea se explică prin faptul că în apă sînt absorbite componentele: galbenă, portocalie şi roşie a luminii albe, cea violetă este difuzată şi nu ajunge la noi; astfel rămîne numai componenta verde, care dă apei coloritul ei caracteristic. În locurile unde printre masele de apă clocotitoare se formează puţină spumă, se observă adeseori o culoare purpurie specifică, complementară la culoarea verde: ea trebuie considerată ca o consecinţă a contrastului cromatic simultan (§ 109).

În locurile puţin adînci, în apropiere de un port sau la gura unui fluviu mare, apa mării este foarte tulbure. De aceea, aici este difuzată înapoi o cantitate relativ mare de lumină; condiţiile sînt într-o anumită măsură asemănătoare cu acelea în care am observat roiul de bule de aer în spatele unui vapor. Predomină culoarea verde, probabil datorită faptului că apele fluviului transportă în mare acizi humici şi combinaţii ale fierului (§ 231), a căror culoare gălbuie se suprapune peste culoarea verde-albastră a apei. Pe o astfel de mare verde puţin adîncă, umbrele norilor au în zilele liniştite o culoare violetă-purpurie minunată (§ 240). „Culoarea apei" pe care o observăm pe obiectele albe scufundate în apă la mică adîncime nu este, de regulă, „culoarea proprie" a mării adînci. În timp ce apa are o culoare verzuie, marea poate fi albastră sau violetă, atunci cînd particulele suspendate în apă sînt foarte mici şi difuzează în special culorile albastru şi violet. Pentru a cerceta aceasta trebuie să eliminăm lumina reflectată, fio observînd frontul valului, fie folosind una din metodele indicate în § 233. Traversînd diferite mări şi oceane, putem constata că există deosebiri apreciabile în „culoarea proprie" a mărilor adînci. Distribuţia culorilor este, în general, următoarea[1]:

verde măsliniu — la nord de 40° latitudine nordică
indigo — între 40 şi 30° latitudine nordică
ultramarin — la sud de 30° latitudine nordică.

Culoarea albastră admirabilă a mărilor tropicale se datoreşte, probabil, purităţii apei. Se ştie că la latitudini mari, în apa mării se găsesc o mulţime de organisme vegetale şi animale. Este foarte probabil că aceste organisme de culoare cafenie sau verzuie modifică culoarea suprafeţei mării. Uneori, porţiuni de nuanţă verde-măslinie se întîlnesc şi la latitudini mai joase. Ar merita, poate, să se studieze dacă într-un acelaşi loc dat, această culoare verde variază cu anotimpurile; există anumite indicii în acest sens. Originea culorii verzi în unele mări adînci încă n-a putut fi explicată în mod satisfăcător. Observaţiile arată că apa acestor mări conţine cantităţi mari de particule suspendate. Dar calculele arată că absorbţia obişnuită, împreună cu difuzia pe particule mari poate determina numai o trecere de la albastru-închis la albastru-deschis sau cenuşiu, dar în nici un caz la verde. De aceea, unii au atribuit această culoare diatomeelor sau excrementelor păsărilor care se hrănesc cu aceste diatomee, alţii — culorii galbene a particulelor difuzante, cum ar fi, de exemplu, nisipul galben. A stîrnit surpriză generală afirmaţia, cum că culoarea verde ar apare în urma fluorescentei unei anumite substanţe organice![2] Observaţiile asupra influenţei anotimpurilor anului par să indice originea organică a culorii; ulterior însă aceste concluzii n-au fost confirmate.

Uneori, apa mării pare albă ca laptele; evident, în acest caz, aproape de suprafaţă trebuie să se găsească un număr mare de particule suspendate care difuzează lumina în straturile superioare, şi această difuzie acoperă complet absorbţia.

237. Culoarea lacurilor

Lacurile dau un farmec deosebit peisajelor de munte. Adîncimea lor este de obicei suficientă pentru a reduce la minimum influenţa culorii fundului; în această privinţă ele seamănă cu marea. Ele se deosebesc însă de mare prin faptul că sînt mult mai liniştite, atît din cauză că suprafaţa lor este mult mai mică, cît şi pentru că munţii din jur îi feresc de vînturi. De aceea, reflexia regulată pe suprafaţă joacă aici un rol mult mai important decît în cazul mării; culorile apusului nu se reflectă nicăieri atît de frumos ca într-un lac, iar varietatea de culori a lacurilor de munte se datoreşte, cel puţin parţial, reflexiilor malurilor lor. Dacă însă malurile sînt înalte şi întunecate, ele nu se reflectă pe suprafaţa apei şi atunci porţiuni mari ale lacurilor au culoarea luminii care a pătruns în apă aproape vertical şi a fost difuzată acolo. Aplicînd metodele indicate în § 233, putem să ne formăm o imagine despre aceste

[1] Hulbert, „J. Optic. Soc. Amer.", 36, 698, 1945.
[2] Ramanathan, „Phil. Mag.", 46, 543, 1923.

„culori individuale". Ele diferă de la lac la lac şi pot fi clasificate astfel: 1) albastre, 2) verzi, 3) galbene-verzi, 4) galbene-cafenii. O analiză mai atentă în laborator arată că apele lacurilor albastre sînt absolut curate şi culoarea lor apare din cauza absorbţiei în apă a porţiunii portocalii şi roşii a spectrului. În ceea ce priveşte culorile 2, 3 şi 4, ele se datoresc creşterii treptate a concentraţiei sărurilor de fier şi a acizilor humici.

Foarte des, culoarea verde a lacurilor mici este determinată de plantele acvatice verzi microscopice (ca *Stichococcus, Synedra, Ulvella*) care cresc aici în cantităţi imense; deseori ele rămîn cu totul verzi şi iarna, cînd copacii sînt despuiaţi de frunze şi totul e acoperit de zăpadă.

Colorarea în roşu poate fi provocată de organisme microscopice: *Beggiatoa, Oscillaria rufescens, Stentor igneus, Daphnia pulex, Euglena sanguinea, Peridinra*.

În ceea ce priveşte polarizarea, vezi § 238.

238. Observarea culorii apei cu ajutorul nicolului[1]

Nicolul, după cum va amintiţi, lasă să treacă numai acele unde luminoase, la care planul oscilaţiilor electrice este paralel cu diagonala mică a prismei. Deoarece lumina reflectată de apă are oscilaţiile orientate în special orizontal, putem atenua reflexiile, ţinînd nicolul astfel, ca diagonala sa mică să fie verticală. Atenuarea este maximă dacă observaţia se face sub un unghi de 53° faţă de verticală („unghiul de polarizare"). Faceţi o încercare după ploaie pe o băltoacă de pe stradă. Aşezaţi-vă la circa 5 m de băltoacă şi priviţi prin nicol, orientînd diagonala sa mică vertical. Efectul va fi uimitor. Veţi vedea fundul băltoacei aproape tot atît de bine ca şi cînd băltoaca nici n-ar exista. Rotiţi nicolul, alternativ, în poziţie orizontală şi verticală: veţi vedea băltoaca cînd mai mare, cînd mai mică.

De obicei, nicolul intensifică culoarea malului umed, a plantelor marine, a sfărîmăturilor de granit, a străzilor umede, a cîmpurilor de tutun, a suprafeţelor colorate, pe scurt, a tot ceea ce reflectă lumina. Cauza constă în aceea că nicolul anihilează o parte din reflexiile de suprafaţă, care adaugă culoarea albă la culoarea proprie a obiectului.

Dacă privim printr-un nicol cu diagonala mică în poziţie verticală, contrastul dintre porţiunile mării liniştite, care se află în umbra norilor, şi cele iluminate de Soare se măreşte. Sînt eliminate razele reflectate pe suprafaţa apei şi, de aceea, diferentele în lumina difuzată apar mai net.

Nicolul amplifică, de asemenea, contrastul dintre porţiunile mării acoperite de o peliculă de ulei şi cele care nu au această peliculă (§ 233). Se poate că acest lucru să fie legat de faptul că, pe porţiunile încreţite, lumina se reflectă sub un alt unghi decît pe cele liniştite, sau poate că reflexia pe stratul de ulei modifică polarizarea luminii.

Acţiunea nicolului este deosebit de surprinzătoare cînd bate vîntul. Priviţi talazurile prin nicolul cu diagonala mică aşezată vertical: marea pare mult mai furtunoasă decît printr-un nicol cu diagonala mică aşezată orizontal! în primul caz, nicolul elimină lumina reflectată, făcînd suprafaţa mării mai întunecată, în timp ce spuma, care-şi păstrează strălucirea, iese şi mai mult în evidenţă.

Deseori printr-un nicol orientat într-un anumit mod orizontul apare mai clar. Dacă privim dimineaţa sub un unghi drept spre Soare, vedem că marea devine mult mai întunecată, iar cerul senin relativ mai strălucitor, atunci cînd planul vibraţiilor luminoase este vertical (§ 233). Din această cauză, sextanţii moderni sînt înzestraţi uneori cu polaroizi.

Experienţele pe care le descriem mai jos sînt legate de polarizarea luminii difuzate în mările tropicale adînci, a căror apă este curată[2].

Să presupunem că Soarele este la o înălţime suficient le mare deasupra orizontului şi suprafaţa apei este liniştită, fraţi cu spatele la Soare şi priviţi apa sub un unghi mai mult sau mai puţin apropiat de unghiul de polarizare, ţinînd licolul astfel ca diagonala sa mică să fie verticală. Lumina reflectată este eliminată şi puteţi să admiraţi priveliştea încîntătoare a luminii albastre care provine din adîncime lupă difuzie, întoarceţi nicolul cu diagonala sa scurtă pe orizontală; marea va apărea acum mai puţin albastră decît fără nicol.

Repetaţi experienţa şi atunci cînd Soarele se află la înălţime nu prea mare, ţinînd din nou axa scurtă vertical îi schimbînd azimutul. Este foarte interesant de comparat culorile în direcţia Soarelui şi în direcţia opusă. În direcţia Soarelui veţi vedea un violet închis. Aceasta se explică prin faptul că privind perpendicular la razele solare eliminaţi m numai reflexiile, ci şi lumina difuzată în adîncimea apei în direcţia opusă Soarelui, culoarea apare de un albastru-strălucitor, pentru că priviţi aproape paralel cu razele solare care pătrund în apă şi lumina difuzată înapoi în direcţia aceastra este foarte slab polarizată. Aceste experienţe arată că lumina difuzată în mare este puternic polarizată, asemănător

---

[1] E. O. Hulbert, „J. Optic. Soc. Amer.", 24, 35, 1934. În loc de nicol se poate folosi şi un polaroid; polaroidul însă este colorat, ceea ce îngreuiează observarea culorilor.

[2] C. V. Raman, „Proc. Roy. Soc", 101 A, 64, 1922.

luminii difuzate în aer (§ 189). La rîndul său, aceasta demonstrează că difuzia are loc pe particule foarte mici, posibil chiar pe moleculele de apă.

Folosind un nicol, s-a putut descoperi o deosebire caracteristică între lumina difuzată „înapoi" în lacurile albastre şi în cele de culoarea cafenie-închisă. Pentru aceasta, trebuie să priviţi în direcţia Soarelui, eliminînd reflexia cu ajutorul unui telescop de apă (§ 233). Nicolul ne arată că în lacurile albastre, planul de vibraţie al luminii difuzate înapoi este orizontal, aşa cum şi trebuie să se întîmple atunci cînd particulele difuzante sînt foarte mici. În acelaşi timp, particulele mari din lacurile cafenii difuzează o lumină practic depolarizată, în care, la ieşirea din apă, predomină întrucîtva componenta verticală (cu condiţia ca telescopul de apă să nu fie prevăzut la capăt cu geam).

539. Scări pentru evaluarea culorii apei

De obicei se foloseşte scara lui Forel. Înainte de toate, se prepară o soluţie albastră de sulfat de cupru şi o soluţie galbenă de cromat de potasiu:

a) 0,5 g $CuS0_4$ în 5 cm^3 de amoniac; se adaugă apă pînă la 100 cm^3.

b) 0,5 g K_2Cr0_4 în 100 cm^3 de apă.

Preparaţi următoarele amestecuri:

1) 100 albastru + O galben
2) 98 albastru -f- 2 galben
3) 95 albastru + 5 galben
4) 91 albastru + 9 galben
5) 86 albastru + 14 galben
6) 80 albastru + 20 galben
7) 73 albastru + 27 galben
8) 65 albastru + 35 galben
9) 56 albastru + 44 galben
10) 46 albastru + 54 galben
11) 35 albastru + 65 galben
12) 23 albastru + 77 galben
13) 10 albastru + 90 galben

Deseori este nevoie de culori brune, în special la aprecierea culorii lacurilor. O soluţie brună poate fi preparată astfel: 0,5 g sulfat de cobalt + 5 cm^3 amoniac + apă (pînă la 100 cm^3)

Amestecaţi această soluţie cu o soluţie verde (nr. 11 pe scara Forel), în următoarele proporţii:

1) 100 verde + O brun
2) 98 verde + 2 brun
3) 95 verde + 5 brun
4) 91 verde -j- 9 brun
5) 86 verde + 14 brun
6) 80 verde + 20 brun
7) 73 verde + 27 brun
8) 65 verde + 35 brun
9) 56 verde + 44 brun
10) 46 verde + 54 brun
11) 35 verde + 65 brun

Aceste amestecuri pot fi păstrate în eprubete cu diametrul de circa l cm. Principala dificultate în folosirea acestei scale este stabilirea punctului de pe suprafaţa apei care trebuie ales ca punct de comparaţie. De obicei se caută să se aprecieze „culoarea proprie" a însăşi apei.

Nu este obligatoriu să se recurgă la ajutorul scărilor. O altă metodă constă în încercarea de a reproduce culoarea apei prin pictură, care apoi se foloseşte pentru comparaţii.

240. Umbrele pe apă

> „... umbra pe o apă curată, într-o anumiţii măsură chiar şi pe o apă murdară, oricînd am vedea-o, nu este o pată întunecată de penumbră, ca pe pămînt, în care luminozitatea solară a devenit mai slabă; aceasta este un spaţiu de o cu totul altă culoare, supus el însuşi, datorită capacităţii sale de reflexie, unei varietăţi infinite de profunzimi şi nuanţe, şi care, în anumite condiţii, poate să dispară cu desăvîrşire".
>
> (Ruskin, Modern Painters)

Lumina care ajunge la noi de la o suprafaţă de apă provine în parte chiar de la suprafaţă, iar în

parte de la păturile mai adînci. Dacă barăm drumul razelor incidente, iluminarea poate să se schimbe.

1. Influența umbrei asupra luminii reflectate

„Cînd suprafața mării este agitată de hulă, fiecare val mic reflectă o mică imagine a Soarelui atunci cînd se găsește la o distanță determinată, de fiecare parte, față de observator şi în cazul existenței unui anumit unghi între observator şi Soare, unghi care depinde de mărimea şi forma hulei, (vezi § 17). Tocmai de aceea se văd atît de des pe mare cîmpuri de lumină orbitoare. Orice obiect situat între Soare şi această hulă micşorează intensitatea imaginii Soarelui şi, prin urmare, şi lumina hulei; obiectul intermediar aruncă în acest spațiu un fel de umbră întunecată, de aceeaşi formă şi pe acelaşi loc ca şi umbra reală". (Ruskin, „Modern Painters").

De adevărul cuvintelor lui Ruskin ne putem convinge foarte bine într-o noapte cu vînt, cînd, de exemplu, apa unui canal este puternic încrețită. Plimbîndu-ne de-a lungul canalului, vedem imaginile luminilor de pe stradă apărînd sub formă de pete neregulate care vibrează şi pe care alunecă încontinuu umbre, de exemplu umbrele copacilor dintre felinarele de stradă şi canal. Prezența acestor umbre pe apă poate fi observată numai din anumite puncte, umbrele fiind vizibile numai în interiorul unui unghi solid mic. Ruskin a avut multe discuții cu criticii şi cu alte persoane interesate în această problemă, dacă se poate vorbi aici în general despre „umbre". Desigur, este o simplă controversă asupra termenilor!

Un efect cu totul diferit apare atunci cînd Luna se reflectă într-o dîră luminoasă lungă şi înaintea noastră apare brusc silueta întunecată a unei bărci alunecînd în fața fîşiei luminoase. Barca însăşi apare acum ca un obiect întunecat, pe un fond deschis, însă şi ea aruncă o umbră în direcția noastră pe apa încrețită. Şi aici sînt valabile raționamentele de mai sus.

2. Influența umbrelor asupra luminii difuzate în adîncime

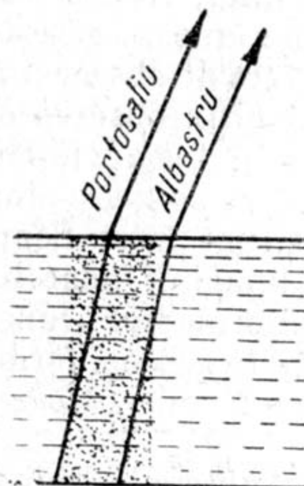


Fig. 174. Iată cum se colorează marginile umbrei în apă tulbure.

Umbrele pot fi clar distinse pe o apă tulbure: gradul de claritate al umbrelor ne indică direct cît de tulbure sau cît de curată este apa. Observați umbrele podurilor şi copacilor pe rîuri şi canale, încercați sa vă găsiți umbra pe apa mării. O veți vedea numai dinspre partea în care vasul a tulburat apa, acolo unde ea conține bule de aer, însă nu acolo unde marea este transparentă. Observați umbrele norilor pe suprafața mării.

Umbra devine vizibilă din cauză că lumina care pătrunde în apă şi se întoarce după difuzie este mai puțin intensă pe aceste porțiuni ale suprafeței decît în rest. Pe de altă parte, lumina reflectată pe suprafață nu este slăbită şi de aceea rolul ei relativ creste. Aceasta explică de ce, atunci cînd cerul este albastru, umbrele norilor pe mare bat deseori spre albastru, deşi din cauza contrastului cu verdele din jur culoarea se poate deplasa puțin spre purpuriu.

În afară de transparența apei, este importantă, de asemenea, direcția în care se face observația. Făcînd baie într-o apă foarte transparentă, nu veți vedea umbre; într-o apă puțin tulbure, veți vedea

numai umbra voastră proprie, dar nu şi ale celorlalţi oameni care se scaldă; într-o apă foarte tulbure veţi vedea umbrele tuturor persoanelor care fac baie. Convingeţi-vă singuri că umbra aruncată de un stîlp pe apa foarte tulbure a unui canal poate fi văzută numai în cazul cînd vă aflaţi în planul care trece prin Soare şi stîlp, prin urmare cînd privirea vă este îndreptată spre acea parte a cerului unde se află Soarele. Tocmai acesta este momentul în care, dacă mergeţi de-a lungul canalului, apare brusc umbra. Acesta este acelaşi fenomen ca cel descris în legătură cu ceaţa. Umbrele pe o apă puţin tulbure prezintă şi un alt fenomen — marginile lor sînt colorate: cea apropiată de noi — în albastru, cea îndepărtată — în portocaliu. Acest fenomen poate fi observat pe umbra fiecărui stîlp, pod, sau vas. El este provocat de difuzia pe infinitatea de particule de praf suspendate în apă, dintre care multe sînt atît de mici, încît difuzează în special razele albastre. Din fig. 174 se vede că în partea apropiată de noi, particulele se văd luminoase pe fondul întunecat, astfel că ele trimit înspre ochiul nostru raze albastre; în acelaşi timp, în partea îndepărtată a umbrei, vedem lumina fundului (sau a apei difuzante din vecinătate) lipsită de raze albastre şi colorată în portocaliu le particulele neiluminate din umbră. Aşadar, fenomenul icesta este perfect asemănător cu cerul albastru şi Soarele galben de la asfinţit (§ 197). Ochiul nostru este deosebit de sensibil faţă de el, din cauza contrastului celor două culori le-a lungul marginilor.

Difuzia luminii în apă, care acţionează simultan cu difuzia pe particulele de praf, colorează şi ea marginile umbrelor. Importanţa relativă a ambilor factori depinde de concentraţia particulelor în apă. Cercetaţi culoarea la marginea umbrei din diferite puncte de vedere, la diferite direcţii de incidenţă a luminii. Observaţi, de asemenea, culoarea albastră a fasciculului îngust de raze care pătrunde prin frunzişul unui copac în apa transparentă a unui pîrîu, pe fundul căruia formează o pată de lumină portocalie.

241. Aureola luminoasă în jurul umbrei noastre pe apă[1] (fotografia XXIII)

> ...Am văzut cerul limpede-al verii oglindindu-se-n apă,
> M-a orbit şi pe mine potopul de raze,
> l-am privit radiind cununi împrejurul imaginii capului meu în apa-nsorită...[2]

Acest fenomen frumos se poate observa cel mai bine stînd pe un pod sau pe bordul unui vas şi privind umbra care cade pe apa neliniştită, agitată de valuri. Mii de dîre luminoase şi întunecate se împrăştie în toate direcţiile de la umbra capului observatorului. Această aureolă poate fi văzută numai în jurul umbrei capului propriu (vezi §185). Razele converg numai aproximativ în acelaşi punct. Un alt fapt remarcabil este creşterea generală a strălucirii în jurul umbrei.

Nimic asemănător nu poate fi văzut pe o apă liniştită, şi nici pe valuri regulate; fenomenul poate fi bine observat numai atunci cînd pe suprafaţa apei se formează valuri mici şi neregulate. Apa trebuie să fie tulbure; cu cît ne depărtăm de ţărm în larg, cu atît aureola devine mai palidă[3]. Aureola este strălucitoare în jurul umbrei, apoi slăbeşte treptat.

Explicaţia acestui fenomen constă în aceea că fiecare neregularitate a suprafeţei de apă aruncă în spatele ei o fişie de lumină sau umbră. Toate aceste fişii sînt paralele cu dreapta care uneşte Soarele şi ochiul nostru, astfel încît, în perspectivă, ele converg în punctul antisolar, adică în imaginea de umbră a capului nostru.

Cîteodată fişiile sînt atît de clare, încît ele pot fi urmărite pe o distanţă unghiulară apreciabilă de la punctul antisolar. De obicei însă, ele au claritatea maximă chiar în jurul punctului antisolar, deoarece în această direcţie privirea parcurge un drum lung, fie prin apa clar iluminată, fie prin apa umbrită. Creşterea intensităţii totale a luminii în apropierea umbrei trebuie atribuită, probabil, faptului că particulele difuzează mai puternic lumina înapoi decît perpendicular la raza incidenţa (§ 189).

O aureolă asemănătoare poate fi observată atunci cînd stăm în umbra unui copac singuratic, ale cărui ramuri răsfirate aruncă pete de lumină şi umbră pe apa de sub el. Razele de lumină, pătrunzînd în apă, creează acelaşi efect optic ca şi neuniformităţile pe suprafaţă.

Interesant este că, în realitate, razele de lumină nu merg paralel cu dreapta care uneşte Soarele cu ochiul, ci, în urma refracţiei, sînt deviate cu un anumit unghi. Pe de altă parte însă, şi ochiul vede drumul acestor raze în apă refractat, astfel că, pînă la urma, raza care trece prin apă se vede ca prelungirea celei care trece prin aer.

242. Linia de plutire a navelor

> „Trei împrejurări maschează linia de contact a apei cu lemnul: cînd

[1] K. Kalle, „Ann Hydr." , **67,** 22, 1939.
[2] Pe bacul Brooklyn-ului, Walt Whitman, Poeme, E.S.P.L.A., 1960, p. 112. - N.R.
[3] G. V. Raman, „Proc. Roy. Soc.", 101 A, 64, 1922.

valurile sînt mici, culoarea lemnului devine întrucîtva vizibilă printre ele; cînd valurile se rostogolesc liniştit, culoarea lemnului se reflecţii într-o oarecare măsură, în ele; cînd valurile se sparg de vas, spuma acoperă şi deformează mai mult sau mai puţin linia de contact"'.

(Ruskin, Modern Painters)

Putem însă afirma, în egală măsură, că noi vedem linia de plutire datorită aceloraşi împrejurări! Urmăriţi un vas care pluteşte sau este ancorat: după care anume fenomene optice apreciem unde anume începe nivelul apei, adică poziţia liniei de plutire?

243. Culorile cascadelor[1]

În condiţii de iluminare favorabile, se poate adeseori observa că apa care cade de pe stînci are o culoare verde. Este interesant că stîncile, care ies pe alocuri din apă şi care sînt, în realitate, negre sau cenuşii, par roşcate. Aceasta se explică, evident, prin contrastul simultan de culori (§ 109).

Fenomenul se observă cel mai bine acolo unde apa spumegă şi împroaşcă picături de apă. Se ştie că în condiţii de laborator, contrastul simultan de culori apare cu intensitate mai mare atunci cînd hotarul dintre cîmpuri nu este net. Pentru a reproduce cazul considerat, sa aşezăm o foaie de hîrtie cenuşie pe un fond verde, acoperind-o cu o foiţă subţire de ţigară. Vom vedea că sub foiţă, cenuşiul capătă în urma contrastului o nuanţă roşcată frumoasă. Este posibil că în natură, acest rol îl joacă ceaţa semitransparentă, care se ridică deasupra apelor.

244. Culoarea corpurilor solide

Observînd suprafaţa rîurilor, mărilor sau chiar a unor băltoace, am putut afla cum se reflectă lumina în apă fie pe suprafaţa ei, fie în adîncime, unde ea pătrunde dinafară şi este difuzată de particule.

Aceasta ne va servi ca model pentru a înţelege cum sînt iluminate corpurile solide şi cum reflectă ele lumina.

În stînci, roci, pămînt şi trunchiurile copacilor, care se consideră „netransparente", difuzia şi absorbţia sînt mult mai intense, însă fenomenul optic rămîne, în esenţă, acelaşi, cu singura deosebire că în apă el are loc în straturi care se măsoară în metri, în timp ce aici totul se petrece într-un strat subţire de pe suprafaţa corpului. Proprietăţile caracteristice ale corpului solid se manifestă numai în măsura în care suprafaţa sa prezintă anumite neuniformităţi, proeminenţe sau porţiuni mate. Putem vorbi atunci despre reflexia regulată sau neregulată sau despre difuzia luminii.

Obiectele care dau o reflexie regulată constituie un fenomen rar în cadrul peisajului. Dintre acestea fac parte, printre altele, suprafaţa netedă a gheţii, geamul ferestrelor, obiectele metalice sau ramurile acoperite cu polei ale arborilor.

În localităţile unde acoperişurile caselor sînt făcute din ţiglă, se poate observa deseori cît de puternic reflectă lumina smalţul ţiglelor. Observaţi cum strălucesc din depărtare acoperişurile de ardezie.

Adeseori observăm cît de frumos strălucesc cristalele do zăpadă proaspăt căzută, dacă se întîmplă să ne aflăm în direcţia în care ele reflectă lumina solară.

Dacă privim pavajul sub un unghi ascuţit, putem observa aceleaşi dîre luminoase care se observă şi pe suprafaţa ondulată a apei.

Trăsătura caracteristică a corpurilor care nu numai că reflectă lumina pe suprafaţă, dar o şi difuzează este aceea că ele dau simultan şi imaginea şi umbra obiectului. Am observat acest lucru la norii de deasupra mării. Un alt exemplu îl constituie păsările care trec în zbor deasupra unei întinderi de nisip umed, în bătaia Soarelui.

În majoritatea cazurilor, corpurile solide au o suprafaţă mată, în plus, această suprafaţă este de obicei neuniformă, ea difuzează mai multă lumină decît reflectă. Lumina solară care cade pe un cîmp, pe o suprafaţă de nisip sau pe zăpadă, le luminează astfel, încît ele devin vizibile în orice direcţie, La o observare mai atentă, se constată însă că difuzia luminii de către? corpurile solide nu este uniformă în toate direcţiile.

Observaţi cît de bine este iluminată seara porţiunea de pămînt sub fiecare felinar, în timp ce totul în jur pare complet negru, îndepărtaţi-vă de felinar şi încercaţi să determinaţi unde se află punctul cel mai strălucitor al petei luminoase aruncate pe caldarîm. Dacă vă apropiaţi apoi, veţi observa că acest punct nu se află sub felinar, aşa cum vi s-a părut, ci ceva mai aproape de dv. Aşadar, lumina este difuzată neuniform în direcţii diferite şi caldarîmul poate servi ca exemplu de trecere de la reflexia

---

[1] Richard, „Wetter", 14, 69, 1917.

orientată la difuzia uniformă.

O altă metodă de studiu al asimetrie! reflexiei constă în compararea aspectului peisajului în direcția Soarelui şi în direcția opusă (§ 250). Din cauza varietății mari de suprafețe care difuzează lumina, apar treceri lente de la lumină la întuneric, de la o nuanță la alta, iar reflexia apei şi a altor suprafețe netede creează tonuri luminoase, însuflețind prin strălucirea lor peisajul în întregime.

245. Difuzia luminii de către crengile copacilor acoperite de brumă

Cînd după un ger îndelungat începe brusc dezghețul, copacii şi pereții caselor se acoperă cu un strat de gheață care-i compus din numeroase cristale mici. Ele difuzează lumina într-un mod foarte specific.

Dacă privim o suprafață acoperită cu chiciură sub un unghi drept, pojghița de gheață pare aproape inobservabilă. Sub un unghi ascuțit peretele ne apare mai strălucitor decît de obicei, iar dacă-i privim îndeaproape el devine argintiu.

Este clar că fiecare cristalit difuzează lumina în toate direcțiile posibile, ca o mică lampă. Cu cît este mai mare unghiul sub care privim, cu atît mai multe surse de lumină de acest fel vom vedea în cadrul unghiului respectiv. Strălucirea unei suprafețe observate sub unghiul θ creşte proporțional cu sec θ, pînă ce ne apropiem foarte mult de perete, cînd cristalitele încep parcă să se ecraneze reciproc. După părerea mea, particularitatea acestui tablou se explică prin aceea că cristalitele sînt separate prin distanțe relativ mari, ceea ce face ca maximul de strălucire să fie atins numai la o observare sub un unghi foarte mic.

Un fenomen analog poate fi observat pe o suprafață albă strălucitoare, stropită cu mici picături de apă.

246. Culoarea frunzelor verzi

Diferitele frunze, copacii, izlazurile, cîmpiile prezintă o varietate infinită de nuanțe de verde. Pentru a găsi anumite regularități în această diversitate, să începem prin a cerceta frunza unui pom „obişnuit" oarecare (stejar, ulm sau fag), în speranța că vom înțelege cum se formează în peisaj grupurile de culori.

Frunza unui copac este de obicei mult mai intens iluminată dintr-o parte decît din cealaltă şi culoarea depinde în mod esențial din ce parte privim. Din partea iluminată, frunza reflectă parțial lumina, şi culoarea ei devine mai luminoasă şi mai cenuşie. În afară de aceasta, cînd frunza este iluminată din față (în raport cu observatorul), la culoarea verde se mai adaugă

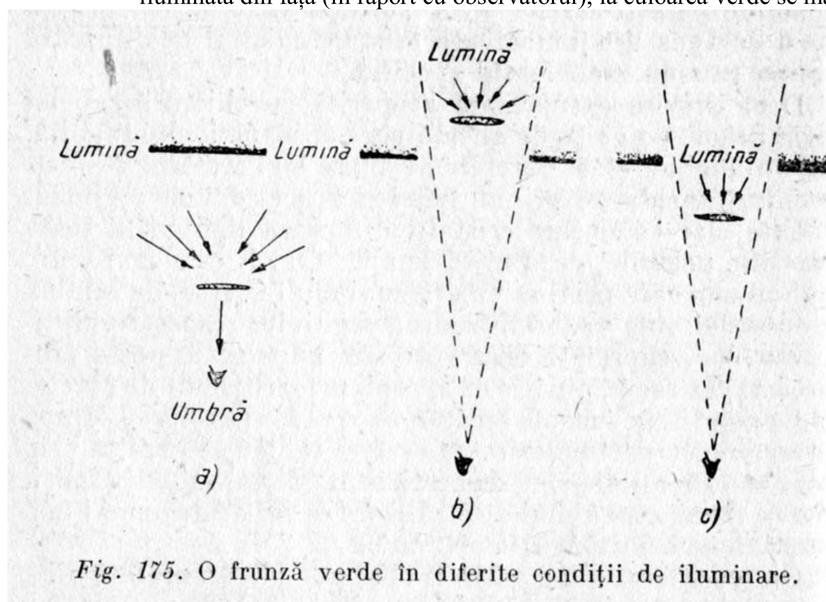


Fig. 175. O frunză verde în diferite condiții de iluminare.

o nuanță albastră, în caz contrar se adaugă o nuanță galbenă. Aceasta ne aminteşte de observațiile noastre asupra difuziei (§ 189). Şi într-adevăr, deşi frunza are grosimea mult mai mică decît l mm, în ca au loc aceleaşi procese de reflexie, absorbție şi difuzie ca şi în oceanul adînc de sute de metri. Absorbția este provocată aici de granulele de clorofilă, iar difuzia are loc probabil datorită multiplelor incluziuni de diferite feluri — în

care sînt atît de bogate celulele — sau datorită faptului că suprafaţa frunzei nu-i suficient de netedă.

Din punct de vedere optic, frunza este un obiect mai complex pentru observaţie decît un lac sau marea pentru că ea nu este iluminată dintr-o singură parte, ci din două, iar una din părţi este mată şi cealaltă lucie. Totodată, intensitatea şi culoarea luminii care cade pe cele două feţe ale frunzei sînt adeseori diferite.

Deosebit de frumos apare verdele de smarald al ierbii iluminate din spate, cînd îl privim pe un fond întunecat, iar noi ne aflăm în umbră (fig. 175, a). Se pare că fiecare firicel este literalmente iluminat de un foc verde lăuntric. Lumina care cade pe el din părţi este difuzată de milioane de granule infime, iar firicelul de iarbă îndreaptă fluxul de lumină înspre ochiul nostru.

Diferenţa de culoare a ierbii iluminate din faţă şi din spate poate fi observată dintr-o dată, dacă, stînd pe o pajişte, privim alternativ cînd în direcţia Soarelui, cînd în direcţia opusă. Această diferenţă corespunde deosebirii, cunoscută de artişti, dintre verdele peisajelor lui Wilhelm Maris, care picta cu faţa la lumină, şi verdele lui Mauve, care prefera luminarea din spate.

Iluminarea frunzelor de către razele directe ale Soarelui este diferită de cea datorită cerului albastru. Lumina directă Soarelui este mai puternică, dar ea este reflectată local, astfel încît frunza apare pestriţă. Dacă frunza reflectă razele polare mai mult sau mai puţin sub un unghi apropiat de unghiul de reflexie regulat, culoarea sa se apropie de cea cenuşie deschisă sau albă. Cînd Soarele este aproape de orizont, învăluind peisajul într-o lumină roşie profundă, frunzişul copacilor îşi pierde tonul verde proaspăt şi pare veştejit: sursa de lumină nu emite raze verzi care ar putea fi difuzate de către frunziş.

Partea inferioară şi superioară a frunzei diferă în culoare chiar şi la o iluminare egală. Partea superioară a frunzei este netedă, reflectă mai bine şi, de aceea, pare pestriţă. Partea inferioară este mai palidă şi mai ştearsă, pe ea există mai mulţi pori, celulele sînt mai îndepărtate una de alta şi există intervale umplute cu aer care reflectă lumina mai înainte ca ea să pătrundă în frunză (§ 248). De obicei este iluminată partea superioară a frunzei. Remarcaţi deosebirea de culoare cînd rotiţi frunza cu 180°, păstrînd aceeaşi iluminare. Cînd vîntul este destul de intens, frunzele se rotesc în toate direcţiile, iar partea lor superioară se vede tot atît de des ca cea inferioară, copacii par pătaţi dinspre partea iluminată, iar fondul general de culori este mai şters decît de obicei.

Frunzişurile tinere au o culoare mai proaspătă şi mai luminoasă decît cele bătrîne; această deosebire devine mai puţin pronunţată spre sfîrşitul verii.

Frunzele exterioare ale coroanei copacului se deosebesc de cele interioare nu numai prin mărime, grosime şi puf, dar şi prin culoare. Culoarea mlădiţelor la poalele copacului şi pe trunchi este de obicei foarte luminoasă.

În sfîrşit, un rol important îl joacă fondul. Staţi sub un copac şi uitaţi-vă la coroana sa. Frunzele de un verde proaspăt pe care le-am văzut pe fondul celorlalţi copaci se transformă pe fondul cerului în siluete întunecate. Aceasta se datoreşte contrastului dintre strălucirea frunzelor şi cea a cerului ca fond. Efectul este slab, dacă frunza este iluminată din toate părţile, în special dacă este iluminată de Soare (fig. 175, b); el este maxim atunci cînd frunza capătă lumină numai de la o porţiune limitată a cerului. De obicei aceasta se întîmplă atunci cînd copacul este înconjurat de alţi copaci (fig. 175, c) sau la o iluminare unilaterală în amurg. Deosebirea dintre verdele obişnuit şi silueta neagră este atunci atît de mare, încît cu greu putem crede că avem de-a face doar cu o iluzie optică, şi anume cu un efect de contrast: strălucirea cerului este enormă în comparaţie cu strălucirea obiectelor terestre.

247. Influenţa directă a luminii asupra culorii frunzelor verzi

În afară de efectele optice studiate în paragraful precedent, lumina însăşi provoacă în plante modificări directe, datorită cărora culoarea lor se schimbă în cîteva minute.

În umbră, granulele de clorofilă sînt în aşa fel distribuite între celulele părţii exterioare şi interioare a frunzei, încît plantele ne par de un verde proaspăt. Cînd planta este orientată spre Soare, granulele de clorofilă se concentrează în interiorul frunzei şi, din această cauză, culoarea frunzelor bate spre galben. Aceasta se observă la lintiţă.

Frunzele cîtorva plante (de exemplu la mărul lupului) lucesc sub influenţa Soarelui şi a vîntului ca şi cum ar fi lăcuite. Aceasta se datoreşte umflării celulelor epidermice, care întind suprafaţa frunzei pînă ce devine complet netedă.

248. Vegetaţia în peisaj[1]

1. Copacii izolaţi

[1] În legătură cu prima parte a acestui paragraf vezi Gornish, „Geogr. Journ.", 67, 506, 19iJ6.

Printre toate elementele care formează peisajul, practic numai la copacii iluminați lateral se poate vedea fermecătorul contrast între partea inundată de Soare şi cealaltă în umbră. Tocmai aceştia produc impresia de ceva voluminos, „care arată iarăşi şi iarăşi că spațiul cu cele trei dimensiuni ale sale este o realitate vizibilă". Acest contrast este atenuat întrucîtva de rotunjimea copacului, dar, pe de altă parte, este accentuat de deosebirea dintre nuanțele culorilor.

Pe un fond luminos îndepărtat, copacii par întunecați; datorită lor, depărtarea fondului se simte mai pronunțat. Fenomenul se explică în aceeaşi măsură printr-un efect stereoscopic, cît şi prin deosebirea în culoare. Tocmai de aceea se înfățişează foarte des copacii în primul plan în imaginile stereoscopice şi în peisajele din picturi, într-o anumită măsură, aceasta se poate compara cu impresia produsă de un peisaj pe care-l vedem printr-o fereastră deschisă sau printr-o arcadă. Clădirile din oraşe, văzute printre copaci înalți, par mai mari şi mai impunătoare.

Contrastul cel mai uimitor față de fond se observă la copacii care se conturează pe fondul amurgului portocaliu. Silueta arcuită a ienupărului pe o colină de nisip izolată sau cea a unui brad semeț, cu veşmîntul său de cetină deasă, pare neagră şi se conturează foarte net. Alți copaci sînt mai deschişi la culoare; cel mai transparent este mesteacănul cu arabescurile sale grațioase; culoarea sa, în special pe un fond deschis, contrastează plăcut cu culoarea cerului.

> „Într-o dimineață însorită de la sfîrşitul lui februarie va voi arăta ramuri de mesteacăn profilate pe fondul albastru al cerului. Fiecare crenguță subțire va părea cuprinsă de flăcări purpurii ca o aureolă minunată prin care cerul priveşte asupra voastră cu o gingăşie de nedescris. Aşteptați, priviți cu atenție şi nu plecați înainte de a surprind'e această privelişte. Vă cuprinde un asemenea sentiment de fericire, încît veți aştepta cu nerăbdare iarna viitoare pentru ca să apară din nou această lumină încîntătoare".
>
> (Duhamel, La possession Au Monde)

2. Pădurile

Silueta unei păduri apropiate pe un fond luminos pare neuniformă; copacii sînt prea transparenți, iar efectele luminoase produse de ei prea variate, pentru ca să dea o impresie de forță şi masivitate. Unitatea este mai accentuată la distanțe mari, cînd vîrfurile copacilor strălucesc în culori verzi-aurii pe fondul colinelor care se pierd în albastrul depărtării sau cînd diferitele specii de foioase scăldate de soare se conturează pe fondul întunecat al brazilor înalți. O pădure îndepărtată de pe un şes poate fi comparată cu un şir de coline; umbra sa nu este mai puțin întunecată, culoarea sa devine, din cauza difuziei în atmosferă, de un albastru cețos încîntător, iar datorită perspectivei aeriene, ea se descompune în şiruri separate (§ 104).

În interiorul pădurii, priveliştea este deosebit de caracteristică. Aici nu există nici orizont,.nici forme definite. Primăvara vedem peste tot deasupra capului culoarea galbenă-verde a frunzelor scăldate în lumină. Vara, după strălucirea obositoare a cerului alb la care e atît de greu să priveşti, ochii noştri se odihnesc aici în voie.

Pădurea este cel mai bine iluminată la amiază, cînd Soarele este sus şi razele pătrund prin vîrfurile copacilor. Jocul de lumină şi umbră este diferit în fiecare plan; farmecul său dispare îndată ce ațintim privirea la o anumită distanță, însă apare din nou, cînd lăsăm privirea să fugă liberă în jur. În diminețile de toamnă, razele solare se strecoară printre copaci şi drumul lor poate fi urmărit în aerul puțin cețos, în special dacă privim în direcția apropiată de cea a Soarelui (§206); în aceste clipe se simte în mod deosebit vraja perspectivei aeriene.

3. Florile

În Olanda, iarba-neagră este singura plantă care acoperă suprafețe întinse. În august, cînd ea este în plină floare, domneşte o deplină armonie de culori; pămîntul este purpuriu, iar cerul albastru-închis. Unora nu le place, altora în schimb această bogăție de lumină în natură le produce o impresie foarte puternică. Norii cenuşii care acoperă cerul îndulcesc armonia culorilor şi micşorează în acelaşi timp contrastele de lumină şi umbră.

Primăvara, farmecul pomilor înfloriți se datoreşte, în mare măsură, slabei dezvoltări a frunzelor. Albul sau rozul-pal al florilor sînt deosebit de frumoase în lumina Soarelui, pe fondul albastru al cerului sau atunci cînd le privim de pe vîrful unei coline pe verdele livezilor.

Culori deosebit de frumoase şi strălucitoare au primăvara pajiştile olandeze cu flori, împărțite în pătrate şi dreptunghiuri geometrice regulate.

4. Pajiştile

O suprafață orizontală monocoloră creează o impresie de linişte şi spațiu deschis şi, în acelaşi timp, mulțimea de amănunte destul de variate îi dă un aer de bună dispoziție şi optimism. De ce însă

suprafețele acoperite cu nisip creează o impresie cu totul diferită?

Văzut de la distanță, verdele devine albastru-închis, iar şi mai departe, el se apropie din ce în ce mai mult de albastrul cerului.

249. Umbrele şi petele întunecate

Căutați în jurul vostru pete întunecate. Le veți găsi:

1) în păduri şi tufişuri, în intervalele dintre trunchiuri şi crengi;
2) la oraş: ferestrele deschise văzute din depărtare.

Ambele cazuri sînt un exemplu foarte bun de „corp negru", cum îl numesc fizicienii: acesta este un spațiu în care poți să priveşti numai printr-un mic orificiu; razele de lumină care cad în interior pot ieşi afară numai după ce suferă un număr mare de reflexii, fiind mult slăbite după fiecare reflexie. Un astfel de corp absoarbe aproape toate razele; o pădure întunecată reflectă numai 4% din lumina incidența. Pe de altă parte, trebuie să avem în vedere că întunecimea pădurii este numai relativă. Dacă ne apropiem, ochiul se adaptează la lumină şi vom vedea că toate obiectele din pădure sînt iluminate şi îşi au culoarea lor. Tot astfel, aflîndu-ne într-o cameră, putem deosebi în ea toate detaliile, însă aceeaşi cameră, privită de afară prin fereastra deschisă, pare foarte întunecată.

Obiectele subțiri care se conturează pe fondul cerului strălucitor par de obicei negre, însă aceasta se datoreşte numai contrastului (§ 253).

Într-un peisaj deschis, umbrele nu sînt niciodată de un negru dens, pentru că pe ele cade lumina cerului; strălucirea lor este de cel puțin 20% din strălucirea peisajului iluminat de Soare.

Cercetați sistematic culoarea umbrelor!

„Chiar şi umbra cea mai obişnuită este totdeauna colorată într-un fel, ea nu este niciodată neagră... În realitate, umbrele sînt tot atît de intens colorate ca şi părțile iluminate", scrie Ruskin.

Acolo unde Soarele luminează, razele sale galbene strălucitoare predomină asupra luminii iradiate de cer; în umbră ajunge însă numai lumina cerului albastru sau cenuşiu. De aceea, umbrele sînt în general mai „albastre" decît mediul înconjurător. Această diferență este şi mai mult accentuată de contrast.

> „De la fereastra mea văd umbrele oamenilor care se plimbă pe mal.
> Nisipul în sine este violet, dar Soarele îl face auriu, umbrele
> acestor oameni sînt atît de violete, încît pămîntul pare galben".
> (Delacroix)

Alegeți-vă un loc neîngrădit şi aşezați o foaie de hîrtie albă, puțin înclinată față de orizont, astfel încît lumina Soarelui aproape să lunece de-a lungul ei. Dacă veți ține un creion în poziție orizontală la l cm deasupra hîrtiei, veți vedea două umbre: o umbră albastră netă şi o umbră galbenă difuză; prima este iluminată numai de cer, a doua numai de Soarele aflat aproape de orizont. O bucată de carton, sprijinită de un ecran sub un anumit unghi, aruncă umbre şi penumbre de diferite nuanțe, care par mai pronunțate din cauza contrastului. Norii luminoşi îşi schimbă umbrele şi culorile, iar strălucirea şi nuanța umbrelor sînt determinate de distribuția generală a luminozității.

Cînd Soarele este pe jumătate acoperit de nori, umbrele devin difuze; cînd el dispare de tot, umbrele dispar şi ele, însă se pot vedea ca şi înainte părți mai luminoase şi mai întunecate.

„Priviți străzile în amurg, pe o zi înnorată: cîtă frumusețe şi căldură domneşte pe fețele bărbaților şi femeilor" (Leonardo dă Vinci)

Această observație m-a împăcat cu zilele mohorîte şi cenuşii!

Noaptea, lumina unei lămpi cu arc (adică a unei surse mai mult sau mai puțin punctiforme), care predomină toate celelalte surse din apropiere, aruncă umbre foarte nete, scoțînd în evidență zbîrciturile de pe fețele oamenilor şi făcîndu-i să apară mai bătrîni.

Există toate gradele de tranziție între umbrele nete, datorite Soarelui, şi cele ale luminii difuze a cerului înnorat. De exemplu, în luminişul unei păduri iluminate de o porțiune limitată de cer, aspectul umbrelor depinde de mărimea porțiunii de cer deasupra luminişului.

Pe o cîmpie netedă sau acoperită de mici movile, umbrele conturează relieful numai dacă Soarele este aproape de orizont. În acest caz, razele sale par că alunecă pe suprafața pămîntului, producînd combinații de lumină şi umbră cu totul neaşteptate. Acelasi lucru poate fi observat în mic, deşi sub o formă exagerată, pe o suprafață netedă de nisip în timpul apusului de Soare: fiecare pietricică, fiecare neuniformitate aruncă o umbră lungă, amintind de fotografia unui peisaj lunar şi creînd o impresie de ireal.

250. Iluminarea peisajului în direcția Soarelui şi în direcția opusă

În general, culoarea şi arhitectura fiecărui peisaj se deosebesc în mod apreciabil, în funcție de faptul dacă privim în direcția Soarelui sau în direcția opusă; se schimbă toată impresia pe care ne-o produce peisajul. Folosiți o oglindă pentru a face observații simultan în ambele direcții.

1. Un lan de grîu tînăr, o pajişte, un cîmp cu varză au înspre Soare o culoare galbenă-verde, în timp ce în direcția opusă, ele sînt albăstrii. Pentru a stabili cauza acestui fapt, să cercetăm „microscopic" fiecare frunză. S-o rupem de pe tulpină şi să ne uităm la ea, mai întîi stînd cu fața spre Soare, apoi întorcîndu-ne în direcția contrară. În primul caz, vom vedea în cea mai mare parte lumina care trece prin frunză, în al doilea caz, lumina reflectată de suprafața acesteia (§ 248). Culoarea şi iluminarea depind uneori de direcția vîntului.

2. Undele de pe un cîmp de secară coaptă sînt legate în special de forma schimbătoare a spicelor. Să presupunem că vîntul bate înspre Soare; cu fața la Soare, vedem practic numai undele luminoase strălucitoare; ele apar atunci cînd spicele sînt înclinate față de Soare, astfel încît lumina solară se reflectă înspre ochiul nostru; privind dinspre Soare, vedem cîteva unde strălucitoare, dar mult mai multe unde întunecate. Acestea din urmă apar atunci cînd, aplecîndu-se sub bătaia vîntului, spicele aruncă umbre asupra spicelor vecine.

Acest fenomen variază în funcție de direcția vîntului, direcția privirii, înălțimea Soarelui.

3. O cîmpie pe care lucrează o maşină de cosit pare mult mai luminoasă atunci cînd cositoarea se îndepărtează de noi decît atunci cînd vine spre noi. În primul caz, vedem mult mai multă lumină reflectată (fotografia XXIV; vezi § 248). Deosebit de puternic este contrastul pe o mirişte: aici şirurile consecutive par alternativ luminoase şi întunecate în funcție de mişcarea maşinii. Dacă va întoarceți cu 180°, bandele luminoase şi întunecate îşi schimbă locul între ele. Pămîntul proaspăt arat luceşte dacă privim perpendicular la direcția brazdelor încă umede.

4. Într-un iaz, lintița se comportă altfel decît iarba. Înspre Soare, ea este de un cenuşiu-verde spălăcit, în direcția opusă ea este galbenă-verde. Studiul „microscopic" arată că în primul caz, reflexia neregulată pe suprafață este mult mai intensă. Noi nu vedem lumina care trece prin frunzele acestei plante.

5. Cînd iarba s-a veştejit, un loc viran pare mai întunecat spre Soare, iar în direcția opusă este mai strălucitor, bătînd în argintiu sau brun-cenuşiu deschis, datorită, desigur, reflexiei (fotografia XXV).

6. Pomii fructiferi înfloriți par albi numai atunci cînd îi privim dinspre Soare, înspre Soare, pe fondul cerului, ei par negri (§ 246, 249).

7. Tot astfel, ramurile şi crengile copacilor par cenuşii-brune dinspre Soare şi negre, fără nici un fel de detalii, înspre Soare.

8. O şosea pavată este brună-roşcată înspre Soare şi albă-cenuşie dinspre Soare.

9. Un drum acoperit cu pietriş este alb-cenuşiu înspre Soare şi brun-cenuşiu în direcție opusă.

10. Spuma mării dinspre Soare pare albă-strălucitoare, iar în direcția Soarelui, ea este mult mai întunecată decît miriadele de reflexii ale apei unduite.

11. Un drum neuniform, acoperit de zăpada, atunci cînd îl privim înspre Soare, pare, în ansamblu, mai întunecat decît zăpada netedă din jur; lucrurile stau invers cînd privim dinspre Soare.

12. Dacă privim valurile unui lac, stînd cu spatele la Soare, cînd vîntul bate înspre Soare, apa pare albastră închisă, cu o mulțime de dungi negre-albăstrii care diverg din punctul de observație (corespunzător cu porțiunile albastre ale cerului); fiecare din valuri iese separat în evidență. Dacă privim în direcția Soarelui, totul pare de un albastru strălucitor plin, iar valurile se pot distinge numai la distanță.

13. Convingeți-vă că atunci cînd priviți spre Soare, toate obiectele ale căror umbre sînt îndreptate spre voi par întunecate, însă au margini luminoase frumoase. În aceasta rezidă farmecul fotografiilor luate contra luminii.

Aceste exemple, ca şi multe altele, oferă, în ansamblu, posibilități nelimitate de observații. Explicația trebuie căutată totdeauna observînd întîi imaginea în întregime, apoi fiecare obiect în parte.

251. Cum influențează umiditatea asupra culorilor

> „Este adevărat că amurgul ascunde toate obiectele", însă tot atît de adevărat este că Natura, care niciodată nu lasă ochiul omenesc fără un prilej de desfătare, a prevăzut o recompensă bogată. Culorile se şterg din cauza întunericului, dar devin mai strălucitoare din cauza umidității. Un obiect umed, oricare ar fi culoarea sa, este de două ori mai strălucitor decît unul uscat şi atunci, cînd depărtările sînt învăluite în ceață şi dispar culorile strălucitoare de pe cer şi ultimele raze ale Soarelui de pe pămînt, în prim plan apar nuanțele cele mai frumoase, iarba şi frunzele reînvie în culoarea verde cea mai desăvîrşită, şi fiecare stîncă iluminată de Soare străluceşte ca un agat".
>
> (Ruskin, Modern Painters)

Umiditatea singură nu poate explica o astfel de înviorare a luminii. Trebuie avut în vedere că îndată ce obiectele sînt acoperite cu un strat subțire de apă, suprafața lor devine mai netedă, ele nu mai difuzează lumina albă în toate direcțiile şi începe să predomine culoarea lor proprie, mai saturată.

252. Peisajul după ploaie

După ploaie, întregul peisaj se schimbă radical. Norii grei şi întunecați produc un contrast impresionant cu luminişurile dintre ei; tot ce ne înconjoară sclipeşte în mii de forme şi chipuri. Frunzele umede, coroanele stejarilor, sălciile deasupra rîului, toate împrăştie în jur pete luminoase, însă toată această strălucire poate fi observată numai dinspre partea de unde luminează Soarele şi numai dacă razele sale cad sub un unghi relativ mic. Dacă privim în direcție opusă, putem observa numai cum strălucesc, ici-colo, picături izolate ale ploii care abia a încetat.

Atenția noastră este atrasă îndeosebi de strălucirea frunzelor umede căzute, împrăştiate pe iarbă, dacă le privim dinspre Soare. Acest efect ne convinge de utilitatea metodei folosite de arheologi în căutarea uneltelor de cremene ale omului preistoric. Arheologii au ajuns la concluzia că pentru a observa urme de unelte trebuie să mergi cu Soarele în spate, deoarece în această direcție strălucirea lor poate fi văzută de departe. Această metodă ține seama de specificul reflexiei luminii pe o suprafață de cremene; spre deosebire de nisip, care difuzează în toate direcțiile, cremenea reflectă razele de lumină într-o anumită direcție.

Ploaia schimbă complet culorile peisajului. O piatră de pavaj reflectă cu atît mai intens, cu cît ea este mai departe de noi şi cu cît mai înclinat cade pe ea privirea noastră. Este surprinzător cît de bine reflectă sub unghiuri mari nu numai asfaltul, dar şi o stradă pavată care nu este netedă. Culorile drumurilor de nisip, pămînt şi pietriş devin mai întunecate şi mai calde, primele picături de ploaie apar pe ele ca nişte pete întunecate. De ce? Apa pătrunde în cele mai mici interstiții dintre firele de nisip. Pe suprafața nisip-apă, lumina se reflectă mai slab decît pe suprafața nisip-aer. O rază de lumină care s-ar difuza în straturile superioare poate pătrunde acum mult mai adînc înainte de a fi trimisă înapoi spre ochiul nostru şi pe acest drum lung ea va fi aproape cu totul absorbită.

Culori foarte frumoase prezintă ochiurile de apă care se formează pe şoselele de asfalt:

a) albastrul cerului, reflectat de suprafața de apă;
b) o margine neagră, acolo unde pămîntul mai este umed ;
c) fondul cenuşiu din jur.

Plantele acvatice într-un iaz formează o masă fibroasă verde-întunecată; partea care iese din apă pare mai palidă, din cauza aerului dintre fire. Însă dacă scufundăm sub apă această parte mai palidă, o scuturăm şi o presăm astfel ca să iasă din ea băşicile de aer, ea devine mai întunecată.

253. Siluetele

Numim siluetă fenomenul în care obiectele pe un fond luminos par întunecate şi se conturează ca nişte figuri plane. Un astfel de efect poate fi obținut prin metode diferite, dintre care vom descrie aici numai cîteva.

1) Efectul poate fi observat cînd casele şi copacii se conturează pe fondul amurgului, în timp ce în partea cealaltă, de unde privim, obiectele sînt iluminate slab de cerul deja întunecat.

Cauza principală constă aici în caracterul unilateral al iluminării în aceste ore ale zilei. Siluetele pot fi observate şi în mijlocul zilei, cînd întregul cer este acoperit de nori denşi, cu excepția unei fîşii înguste la orizont, scăldată într-o lumină caldă, portocalie.

2) Siluetele pot fi observate noaptea cînd felinarele iluminează puternic caldarîmul şi între noi şi felinare apare brusc figura unui trecător. O barcă cu pînze ne pare uneori uimitor de neagră pe fondul mării, cînd aceasta este astfel iluminată de Soare sau de Lună încît începe să strălucească ca un jet compact de lumină.

3) În timp de ceață sau cînd ploua mărunt, toate contrastele mici par să se şteargă şi se pot distinge numai detaliile mari ale peisajului, ale cărui trăsături sînt, în general, destul de clare. În aceste momente, copacii, turnurile, casele devin cenuşii-întunecate şi se conturează clar pe fondul cenuşiu-deschis.

4) Noaptea, pe fondul cerului înstelat, masivii uriaşi ai peisajului devin şi mai întunecați.

254. Figurile omeneşti în peisaj

„De la fereastra mea văd un om gol pînă la brîu, lucrînd la pardoseala coridorului. Cînd compar culoarea pielii sale cu culoarea peretelui exterior, observ cît de bogat în semitonuri este corpul

în raport cu materia neînsufleţită. Acelasi lucru l-am observat ieri în piaţa Sf. Sulpice privind un băieţaş căţărat pe una din statuile fîntînii iluminată de Soare. Trupul său era portocaliu-închis, gradaţiile de umbre — violete, iar reflexiile în partea umbrită îndreptată spre Pămînt — aurii. Portocaliul şi violetul alternau sau se întrepătrundeau. Culoarea aurie avea şi o uşoară umbră de verde. Culoarea adevărată a corpului poate fi văzută numai la Soare, în aer liber. Cînd un om îşi scoate afară capul pe fereastră, culoarea capului său pare cu totul diferită decît cea din cameră. Aceasta demonstrează absurditatea lucrului în studio, unde fiecare se străduieşte să reproducă o culoare neadevărată" (Delacroix, „Journal").

XIII. Plante, animale şi pietre care luminează

255. Licuricii

„Povesteşte-i lui B., că am străbătut Alpii şi Apeninii, că am vizitat „Jardin des Plantes", muzeul întemeiat de Buffon, Louvre-ul cu tezaurul său de sculpturi şi picturi, Luxembourgul cu pînzele lui Rubens, şi că am văzut un licurici!!!"

(Dintr-o scrisoare a lui Faraday către mama sa, Life and Letters, 1814).

Licuricii fac parte din ordinul coleopterelor. Femela n-are aripi aşa că se tîrăşte, iar masculul zboară. În Olanda se întîlnesc două tipuri de licurici: licuriciul mic (*Lampyris splendidula*): femela are 9 mm lungime, masculul 8 mm, şi licuriciul mare (*Lampyris noctiluca*): femela 11 mm, masculul 16 mm. În U.R.S.S., în latitudinile centrale este răspîndit licuriciul mare; femela sa nearipată este numită de obicei „viermuşorul lui Ivan". În sud se găseşte licuriciul mic, iar în Caucaz, pe ţărmul Mării Negre, licuriciul de sud (*Luciola supuralis*) la care numai masculul care zboară este luminescent.

Organele luminescente ocupă ultimele două segmente ale abdomenului şi conţin o substanţă care luminează prin chemiluminescenţă în cursul oxidării. Razele emise aparţin domeniului spectral în care ochiul este cel mai sensibil. Radiaţia infraroşie lipseşte. Acest licurici ar putea fi o sursă ideală de lumină, dacă ar lumina ceva mai tare!

256. Luminescenţa mării

În emisfera noastră, luminescenţa mării se datoreşte mai ales milioanelor de animale marine microscopice din specia *Noctiluca miliaris* care sînt răspîndite de obicei pe întreaga suprafaţă a mării, dar care, în anumite împrejurări, determinate de vreme, se concentrează în cîteva locuri. Aceste organisme simple aparţin de clasa flagelatelor şi au o mărime de circa 0,2 mm, astfel că ochiul liber le vede ca nişte mici puncte. Ele emit lumină numai atunci cînd în apă este dizolvat oxigen, de exemplu, cînd marea este agitată. Oxigenul oxidează o anumită substanţă, fără s-o încălzească sensibil. Lumina ei are o compoziţie spectrală care nu seamănă de loc cu lumina unui corp incandescent; aceasta nu este o radiaţie termică, ci chemiluminescenţă. În această radiaţie nu există nici raze ultraviolete, nici raze infraroşii; ea conţine numai raze la care ochiul nostru este foarte sensibil, în particular galbene şi verzi. Introducînd degetele în mare, veţi simţi o uşoară înţepătură dacă în apă se găseşte un număr mare de organisme luminescente. În felul acesta puteţi prevedea încă din timpul zilei dacă noaptea se va observa luminescenţa.

Luminescenţa mării este splendidă în nopţile de vară înainte de furtună, după o zi foarte caldă. Lumina lămpilor de-a lungul ţărmului şi de la ferestre va poate produce o oarecare îndoială asupra faptului dacă se observă, în realitate, luminescenţa mării sau spuma albă pe crestele valurilor; din această cauză, fenomenul se dezvăluie în toată frumuseţea sa numai în nopţile complet întunecate. Dacă însă condiţiile de observaţie nu sînt atît de ideale, cel mai bine este să ne descălţăm, să intrăm în apă şi sa ne agităm mîinile în ea.

Atunci cînd luminescenţa nu este prea intensă, se pot vedea pe timp de valuri o mulţime de scîntei rătăcitoare, l care se aprind pentru o clipă ici-colo şi dispar din nou. Umpleţi o mică căldare cu apă de mare şi aşezaţi-o într-un loc complet întunecat. Chiar şi în zilele mai puţin favorabile veţi putea observa luminescenţa, agitînd apa sau excitînd microorganismele prin introducerea în apă de alcool, formol sau un acid oarecare. Turnaţi apa luminescenţa într-un pahar şi substanţele luminescente se vor concentra la suprafaţă. Ciocăniţi paharul, zguduitura va face apa să lumineze.

Dacă veţi repeta aceasta de cîteva ori, lumina va deveni din ce în ce mai slabă.

Uneori, în timpul luminescenţei apei mării nu sîntem în stare să distingem scînteierile izolate, vedem numai o radiaţie generală. În acest caz, luminescenţa este legată de prezenţa unor bacterii luminescente (*Micrococcus phosphoreus*).

Întocmiţi-vă o scală pentru evaluarea luminescenţei mării! Alegeţi o seară rece, cînd luminescenţa lipseşte cu siguranţă şi urmăriţi apariţia crestelor de spumă. În serile favorabile pentru luminescenţa veţi putea observa deosebirea.

Dacă călătoriţi pe mare, în special la tropice, staţi într-o 'noapte întunecată la pupă sau la proră, astfel încît să nu cadă lumina asupra voastră. Veţi vedea un curent aproape continuu de scîntei trecînd în zbor pe lîngă vapor; el constă din cele mai diferite animale marine luminescente.

În Oceanul Indian, uneori toată marea pare luminescenţă; aveţi impresia că un întreg sistem de vîrtejuri luminescente se roteşte pe suprafaţa apei ca spiţele unei roţi; acestea sînt valurile ridicate de vînt şi de prora vasului, care antrenează apa într-o mişcare turbulentă şi o fac astfel să lumineze.

257. Copacii luminescenți, frunzele luminescente

Uneori, în nopțile de vară întunecate, într-o pădure umedă, se poate vedea o lumină slabă emisă de copacii putrezi. Această luminescența este produsă de hifele ciupercii ghebe (*Armillaria mellea*).

Încercați să găsiți primăvara sau vara o buturugă de pe care se poate scoate ușor coaja cu fibre întunecate distincte. Puneți o bucată din acest lemn în mușchi umed și luați-o acasă. Țineți-o într-un loc întunecos sub un capac de sticlă. După cîteva zile, hifele ciupercii care acoperă lemnul încep să lumineze. Uneori luminează și ramurile putrede, dar luminescența lor este produsă de bacterii.

Frunzele uscate de mesteacăn și stejar, depuse în straturi groase, emit o lumină ușor vizibilă care se datorește procesului de descompunere, încercați să găsiți un strat de 10—30 cm grosime; nu interesează frunzele care sînt la suprafață, ci cele presate mai compact, cu pete galbene-albe. Aduceți un pumn din aceste frunze într-o cameră complet întunecată. Veți vedea o luminescența care se atribuie hifelor unei ciuperci a cărei specie încă nu a fost stabilită.

258. Ochii de pisica noaptea

Tuturor le este cunoscută lumina puternică care pare sa fie emisă de ochii pisicilor. În realitate, aceasta este o lumină reflectată, mai precis o lumină reflectată orientată, asemănătoare cu lumina farului unei biciclete sau cu nimbul pe iarba acoperită de rouă (§ 185). Razele care pătrund prin cornee formează în ochi o imagine clară. Această imagine reflectă lumina astfel, încît fasciculul de raze se întoarce practic pe același drum pe care a ajuns în ochi. Pentru ca fenomenul să fie mai bine observat, ochiul pisicii și ochiul observatorului trebuie să fie în linie dreaptă. Aceasta se poate realiza ținînd o lampă electrică la nivelul ochilor noștri; luminescența ochilor de pisică poate fi văzută în acest caz de la o distanță de 80 m.

Lumina reflectată de ochii unui cîine devine roșiatică. Ochii oilor, iepurilor de casă și cailor luminează și ei. Ochii omului nu au această proprietate.

259. Reflexia luminii pe mușchi

E o dimineață frumoasă și senină. Iarba este acoperită peste tot de rouă. În colțurile întunecate și umede cresc mănunchiuri bogate de mușchi din genul *Mnium*. Pe micile și gingașele sale tulpinițe se găsesc două rînduri de frunze stropite parcă cu mici stele luminoase. Ele radiază o lumină aurie-verde, mult mai constantă decît cea emisă de picăturile scînteietoare de rouă. La o privire mai atentă, descoperim ca peste tot sub frunze există mici picături și ajungem la concluzia că lumina Soarelui pătrunde prin marginile frunzelor, suferă o reflexie totală în picături și iese în exterior după ce a mai trecut o dată prin frunză; în acest proces apare culoarea aurie-verde. *Schistostega osmundacea*, renumitul mușchi luminos din grotele și cavernele din Fichtel-gebirge în Bavaria, prezintă reflexii și mai frumoase. La acest mușchi, înseși celulele sale sferice joacă rolul de picături reflectante.

260. Fluorescenta sevei plantelor

Tăiați primăvara cîteva bucăți de scoarță sau frunze de castan sălbatic și puneți-le într-un pahar cu apă. Seva plantei se va amesteca cu apa și aceasta va începe să prezinte o luminescență albastra deosebită, care poate fi observată și mai bine dacă, cu ajutorul unei lentile convexe (de ochelari sau de lupă), lăsați să treacă prin lichid un fascicul de raze solare. Acest fenomen se explică prin aceea că lichidul absoarbe razele violete și ultraviolete ale Soarelui (invizibile pentru noi), emițînd la rîndul său o lumină albastră. Această transformare de lumină se numește fluorescență.

Se spune că scoarța frasinului alb (*Fraxinus ornus*), care se cultivă pe scară întinsă, are și ea această proprietate; de obicei ea poate fi observată numai primăvara, dar la puieții tineri se vede în tot cursul anului.

261. Luminescența gheții și zăpezii

O veche legendă spune că unele cîmpii de gheață, după ce sînt iluminate timp îndelungat de Soare, emit noaptea o lumină slabă. Se mai spune că zăpada luminează și ea la cîteva grade sub zero dacă, după ce a fost iluminată de Soare, este adusă într-o cameră întunecată. Boabele de grindină, în special acelea care au căzut primele, prezintă un fel de electroluminescență. Este foarte probabil ca toate aceste exemple să nu reprezinte decît o eroare și ar trebui să fie verificate prin experiențe.

262. Scintilația pietrelor

De multe ori, caii în galop lovesc cu atîta putere pietrele de pe stradă încît sar scîntei.

Căutați la marginea drumului cîteva bucăți de cremene sau de cuarțit (adică pietriş obişnuit). Aceste pietre brune, puțin transparente la margini, sînt de obicei rotunde, fără o structură cristalină. Dacă ciocnim una de cealaltă două pietre de cuarțit într-un loc cît mai întunecat, vor apare scîntei şi un miros specific. Aceasta se observă şi la alte pietre. Scînteile sînt produse de particulele care sar din piatră şi care au fost încălzite prin ciocnire pînă la incandescență, iar mirosul este determinat de anumite gaze care sînt eliberate în timpul ciocnirii.

263. Focurile rătăcitoare

În popor se povesteşte despre focurile rătăcitoare care dansează deasupra cimitirelor sau care ademenesc pe călători în mlaştini. Existența lor nu constituie un element de basm! Ele au fost văzute şi descrise de renumitul astronom Bessel şi de alți observatori excelenți; dificultatea interpretării lor constă în aceea că fenomenul are o mulțime de forme diferite.

Focurile rătăcitoare apar deasupra mlaştinilor, în locurile unde se extrage turbă, şi de-a lungul şanțurilor; uneori ele apar atunci cînd se bătătoreşte pămîntul umed, proaspăt îngrăşat al pepinierelor, sau cînd se agită apa murdară a canalelor. Ele apar mai des în timpul verii sau în zilele ploioase şi calde de toamnă decît în anotimpurile reci şi arată ca nişte flăcări de l pînă la 12 cm înălțime şi de cel mult 4 cm lățime. Uneori ele apar chiar pe pămînt, alteori plutesc la circa 10 cm deasupra pămîntului. Afirmația că „dansează" pare, după toate probabilitățile, să nu fie adevărată. În realitate, ele dispar şi în acelaşi timp, alături, apare o altă flacără; probabil că această apariție şi dispariție a lor creează impresia de mişcare rapidă. Uneori ele sînt duse de vînt cîteva zeci de centimetri înainte de a se stinge. S-au observat multe cazuri cînd flăcările rătăcitoare au ars fără întrerupere timp de o oră sau o noapte întreagă, uneori chiar şi în timpul zilei. În momentul cînd apare o flacără nouă se aude cîteodată trosnitura unei mici explozii. Culoarea flăcărilor este uneori galbenă, alteori roşie sau albastră. În multe cazuri, flacăra nu emite nici un fel de căldură. Un baston cu vîrf de cupru ținut în flacără un sfert de oră avea aceeaşi temperatură ca înainte, iar ramurile uscate de trestie nu se aprindeau. În alte cazuri, flacăra aprindea hîrtia şi resturi de bumbac. De obicei flacăra nu este însoțită de miros şi numai foarte rar se simte un iz de sulf.

Care este oare natura acestor flăcări misterioase? Nimeni n-a reuşit încă să colecteze gazul care arde. S-a presupus că este vorba de hidrogen fosforos care poate să se aprindă spontan în aer. Se pare că ipoteza unui amestec de PH_3 şi H_2S, care se aprinde fără fum şi miros, explică cel mai bine fenomenul amintit. Astfel de gaze pot apare prin descompunerea unor substanțe în putrefacție. Flacăra reprezintă o formă de chemiluminescență şi temperatura sa joasă este o proprietate care caracterizează deseori reacțiile de acest gen.

Ar fi de dorit să se efectueze mai des observații asupra focurilor rătăcitoare în regiunile mlăştinoase de şes.

Încă în 1910, dr. Garjani a reuşit să observe o mulțime de focuri rătăcitoare în mlaştinile din apropiere de Nijkerk. Flăcările de mărimea unor pietricele luminau prin ierburi şi muşchi. După cîteva nopți însă, în urma unei ploi torențiale, totul a dispărut.

Un cititor mi-a povestit despre focurile rătăcitoare pe care le-a observat deasupra mlaştinilor de la Winterswijk. În fața sa mergea cineva şi deodată el observă mici flăcări care ieşeau din pămînt în locurile unde păşise înainte persoana care mergea în față. Focurile aveau circa 5 cm înălțime, se aprindeau cu o lumină albăstruie şi se stingeau imediat.

Anexă

264. Cîteva sugestii în legătură cu fotografierea fenomenelor naturii

În legătură cu fenomenele optice descrise în această carte pe pune problema dacă este posibilă fotografierea lor. Este uimitor cît de multe se pot face în această direcţie şi cît de puţin s-a realizat pînă în prezent! Un aparat fotografic obişnuit este de obicei suficient. Dacă se foloseşte un stativ, el trebuie să fie prevăzut cu un cap articulat care să permită înclinarea aparatului în orice direcţie. Fenomene ca haloul , şi curcubeul necesită un obiectiv cu deschidere mare. Pentru fotografierea aureolelor şi a deformaţiilor Soarelui din timpul apusului sînt necesare aparate de fotografiat cu distanţa focală de cel puţin 30 cm.

Folosiţi totdeauna plăci sau filme antihalo, de preferinţă orto- sau pancromatice. Peisaje cu zăpadă, brumă, pomi înfloriţi, nori, orizonturi îndepărtate vor fi fotografiate cu un filtru galben pe plăci orto- sau pancromatice. Feriţi obiectivul de razele Soarelui, aşezînd în faţa sa un cilindru.

Peisajele se fotografiază cel mai bine cînd Soarele nu este în înaltul cerului, încercaţi să distingeţi efectele de iluminare cînd lumina cade din faţă, din spate, de sus (vezi § 250).

Timpurile de expunere variază de la 1/100 s pentru fotografiile luate din avion, la o oră pentru fotografiile făcute la lumina Lunii.

Developaţi cu un revelator de metol-hidrochinonă.

265. Cum se măsoară unghiurile

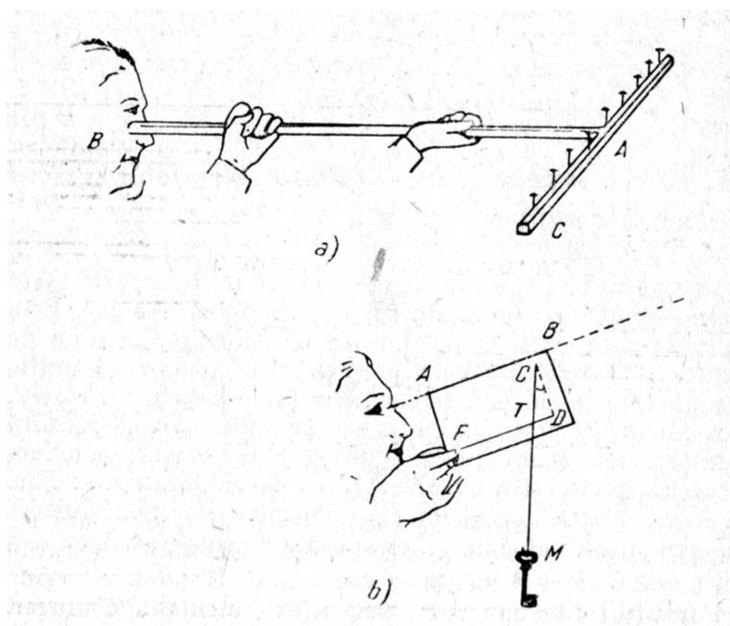


Fig. 176. Mijloace simple pentru aprecierea unghiurilor.

1. Încercaţi să apreciaţi fără vreun mijloc ajutător înălţimea stelelor. În acest scop încercaţi sa fixaţi în primul rînd poziţia zenitului, apoi întdarceţi-vă şi verificaţi dacă îl mai găsiţi în acelaşi loc. După aceasta, încercaţi să determinaţi altitudinea de 45°, apoi de 22,5° şi 67,5°. Veţi constata că aveţi tendinţa de a nu apleca suficient capul pe spate (vezi § 125). Eroarea făcută de un observator bun nu depăşeşte niciodată 3°.

2. Fixaţi 3 ace de gămălie, A, B şi C, pe o placă de lemn sau o carte poştală, astfel ca unghiul de măsurat să fie cuprins exact între direcţiile de privire BA şi BC. Placa de lemn trebuie să stea nemişcată, fie culcată pe o masă, fie fixată de trunchiul unui copac. Trasaţi apoi liniile BA şi BC şi determinaţi mărimea unghiului cu ajutorul unui raportor (fig. 119).

3. Fixaţi de mijlocul unei şipci, în care sînt bătute cuie sau ace de gămălie la distanţe egale între ele, capătul unei alte şipci de l m lungime, astfel încît şipcile să fie perpendiculare (fig. 176, a). „Grebla" astfel obţinută ţineţi-o cu capătul ei B presat de umărul obrazului. Cînd cuiele A şi C coincid cu punctele care ne interesează, AC va fi unghiul căutat exprimat în radiani (l radian = 57°). Dacă avem de exemplu AC = 7 cm, AC/BA= 0,07 rad = 4°. Pentru unghiuri mai mari de 20°, precizia

determinărilor scade.

4. Întindeţi mîna drept înainte şi răsfiraţi degetele cît se poate de mult. Unghiul subîntins de vîrfurile degetului mare şi degetului mic este de circa 20°. Puteţi proceda şi altfel. Ţineţi cu mîna întinsă o şipcă scurtă, perpendicular la direcţia în care priviţi şi măsuraţi în centimetri distanţa aparentă a între cele două puncte observate. Unghiul va fi de aproximativ α grade. Această metodă poate fi făcută mai precisă măsurînd exact distanţa de la şipcă la ochi.

5. Există un dispozitiv simplu care permite măsurarea înălţimilor deasupra orizontului cu o precizie pînă la 0,5°. Luaţi o bucată de carton dreptunghiulară, găurită în C, şi atîrnaţi pe un fir CM, fixat în C, o greutate, care ne va servi drept fir de plumb (fig. 176, b). Observatorul priveşte de-a lungul lui AS vîrful unui copac, de exemplu, a cărui înălţime vrea s-o măsoare, înclină cartonul puţin, scoţîndu-l din planul vertical astfel, încît firul să atîrne liber şi apoi îl readuce încet în poziţia iniţială, astfel ca firul să fie lipit de carton. Se trasează pe carton liniile CD, perpendiculară la A B, şi DT, paralelă la AB. Unghiul DC M este egal atunci cu unghiul între A B şi planul orizontal. El poate fi măsurat cu ajutorul unui raportor sau poate fi calculat din tangenta TD/CD.

Pentru unghiuri mici, TD/CD este egal cu unghiul în radiani.

Dacă CD = 10 cm, unghiul în radiani va fi TD (cm)/10

CUPRINS

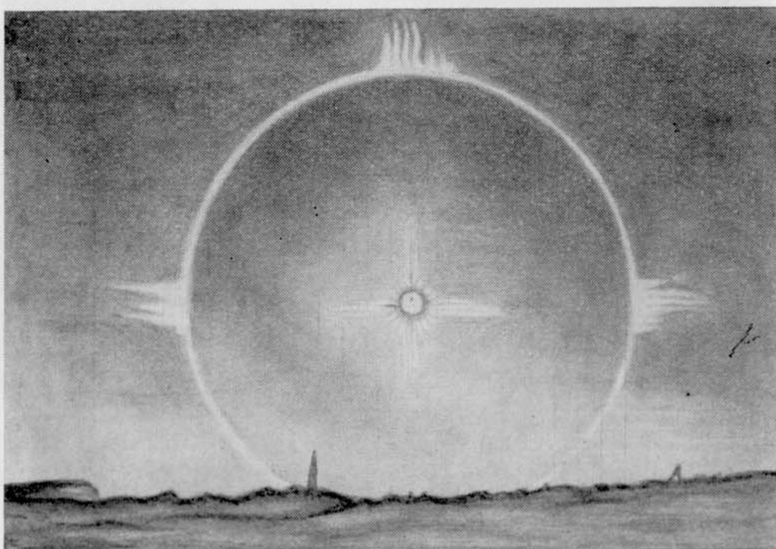
XII Lumina şi culoarea în peisaj

XIII Plante, animale şi pietre care luminează

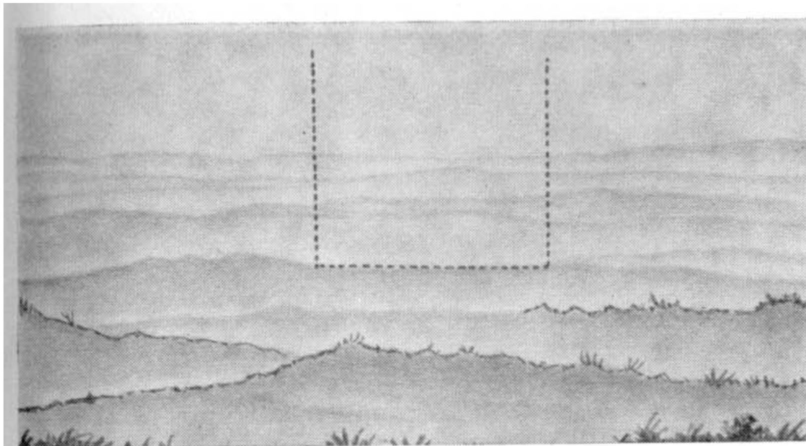
Anexa



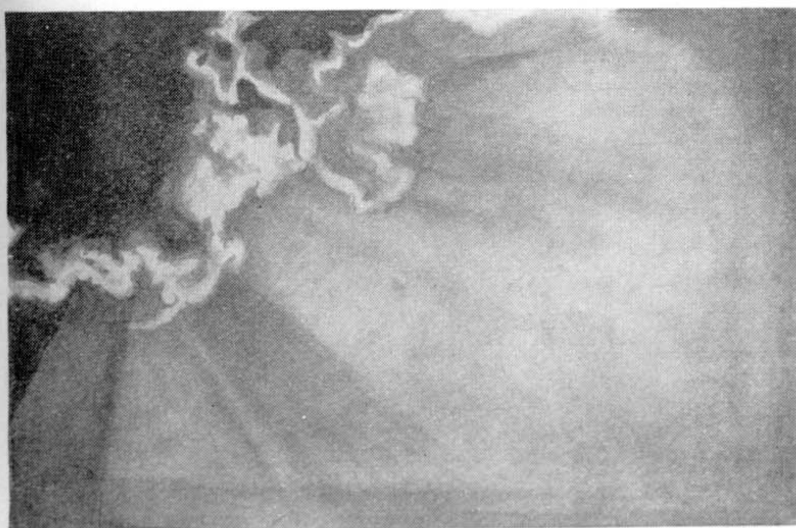
XIV. Curcubeu principal intens colorat, curcubeu secundar slab colorat. Se văd bine contrastele de lumină între curcubeie şi în afara lor, precum şi arcurile suplimentare sub primul curcubeu.



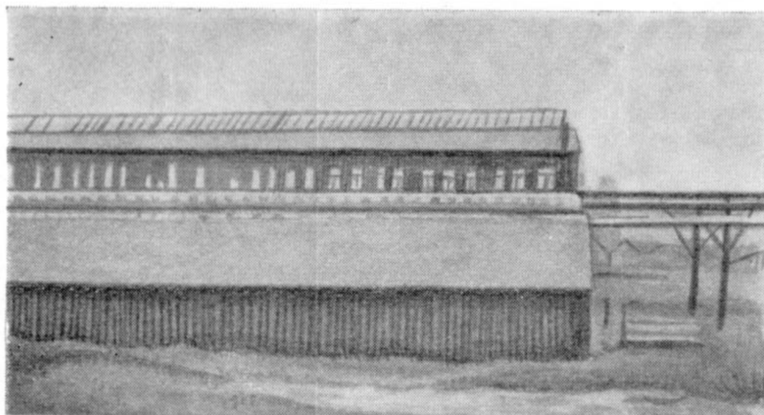
XV. Halo în jurul Lunii cu luni false, arc tangent superior şi cruce luminoasă (după o acuarelă de L. Wenckebach).



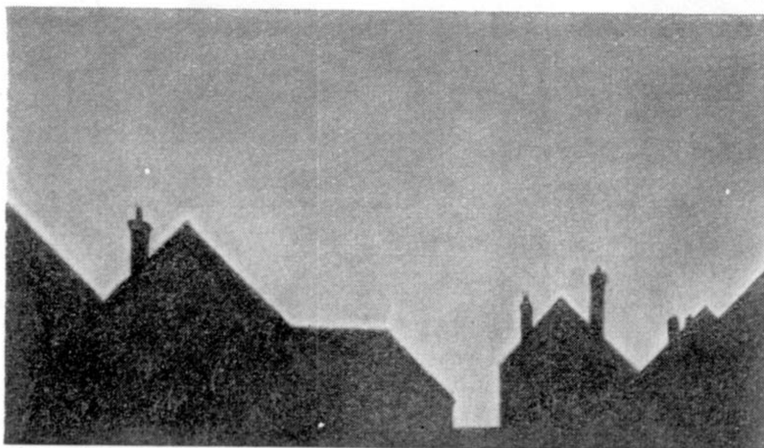
XII. Fenomene de contrast observate pe un teren deluros. Iluzia dispare dacă acoperim o parte din peisaj indicată de liniile punctate.



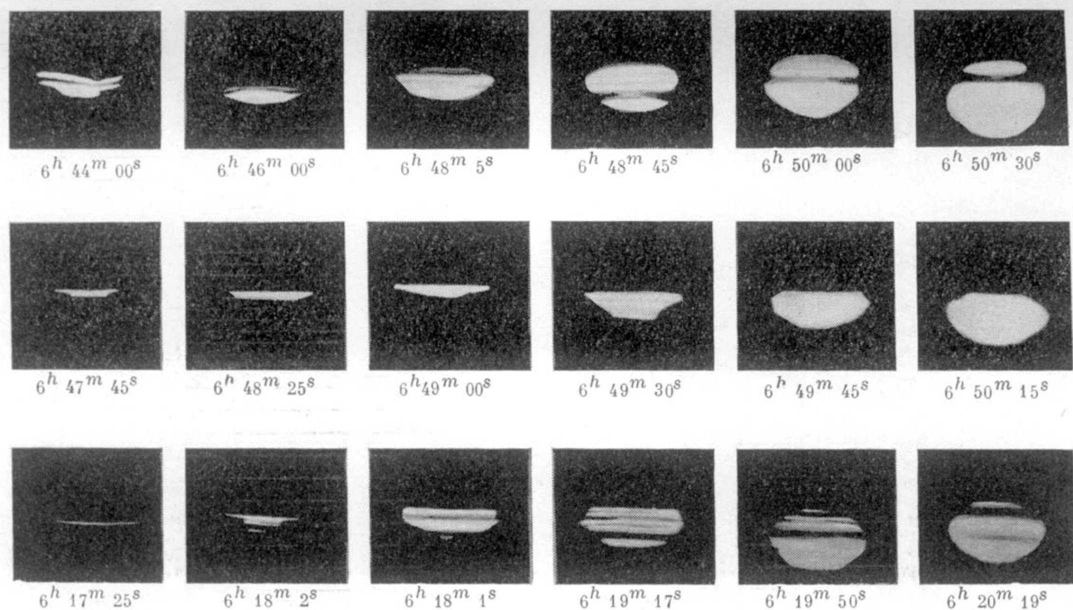
XIII. Soarele aruncă umbra unui nor cumulus greu pe aerul ceţos de sub el. Toate razele par să pornească dintr-un singur punct, deşi în realitate ele sînt paralele.



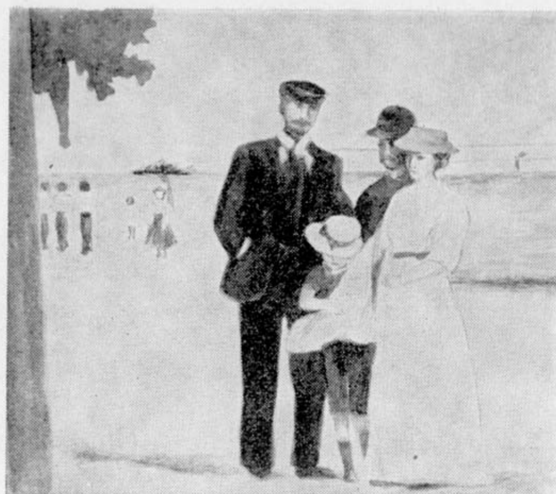
X. Dîre de lumină între scînduri pe pereții opuși ai unui șopron.



XI. Marginea de contrast, vizibilă seara deasupra acoperișurilor.



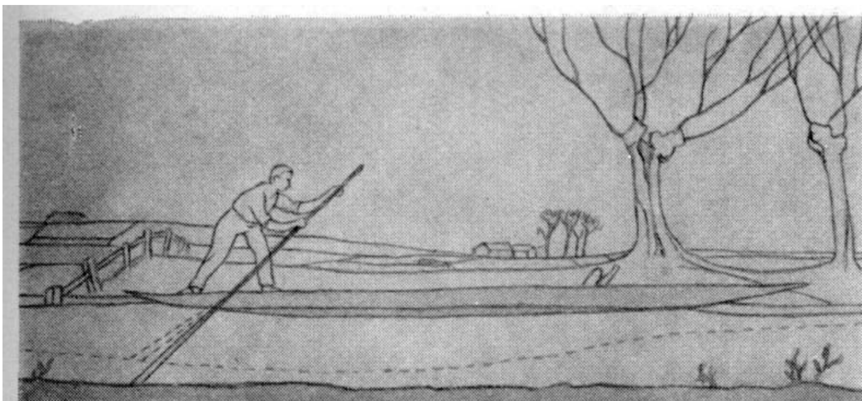
IX. Soarele apunînd, deformat de curbarea terestră a razelor. Rîndul de sus — 13 septembrie 1933, cel din mijloc — 25 august 1933, cel de jos — 24 august 1933. (Fotografiile au fost făcute cu o lentilă cu diametrul de 5 *cm* şi cu distanţa focală de 1,50 *m* pe un film pancromatic de portret. Expunerea 1/825 pînă la 1/5 *s*. („Publ. Astr. Soc. Pacif.", **45**, 281, 1933).



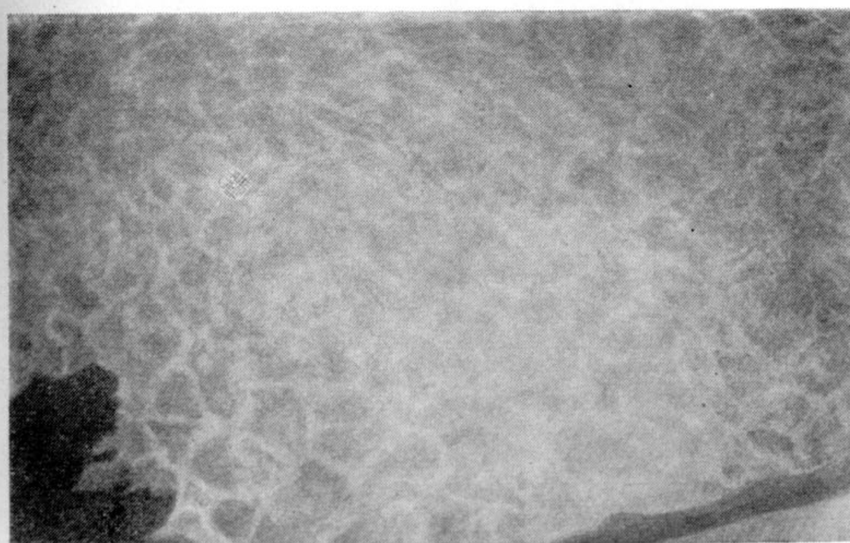
VII. Miraj pe un zid lung iluminat de Soare. Se poate vedea imaginea reflectată a băiatului (care se afla la 160 *m* de observator) și începutul unei reflexii secundare anormale; temperatura zidului era cu 4,5°C mai mare decît cea a aerului. („Phys. Zs.“, **14**, 718, 1913).



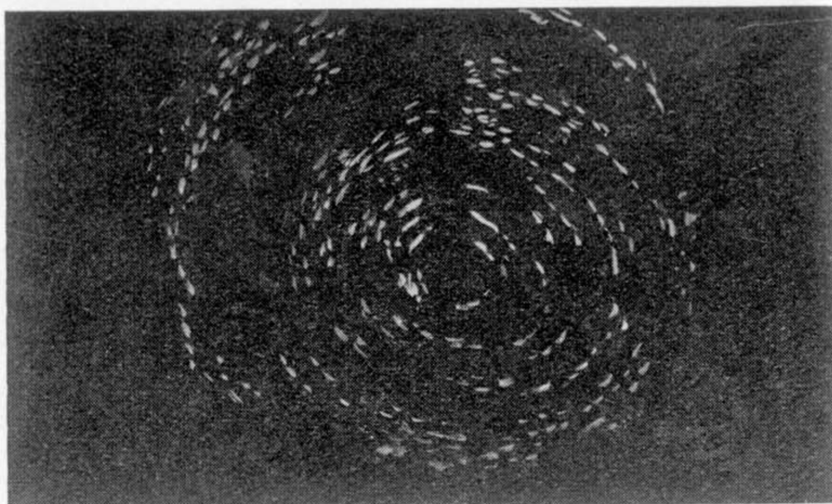
VIII. Miraj inferior în Valea Morții, California, S.U.A.



V. Vîsla pare frîntă şi fundul rîului ridicat. (Din *The Universe of Light* de W. Bragg).



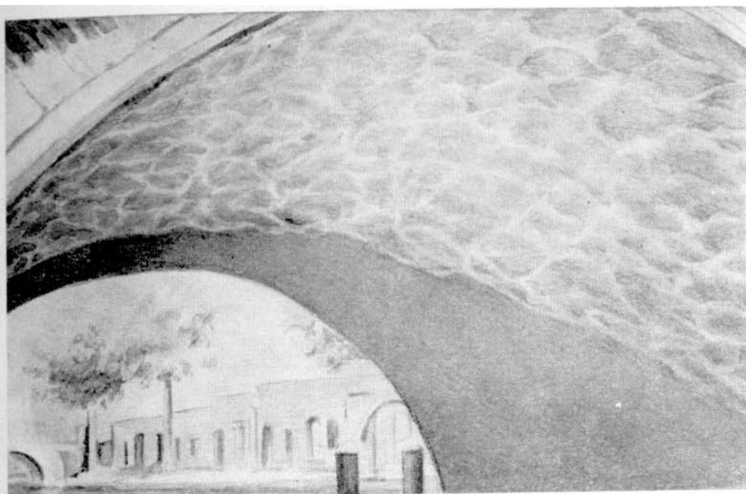
VI. Lumina solară reflectată de o apă joasă uşor ondulată se concentrează pe fund în dîre de lumină.



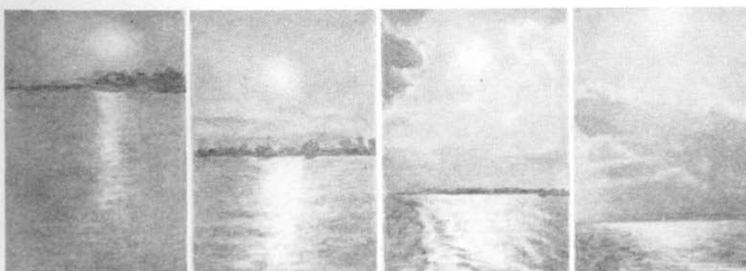
III. Dacă privim seara un felinar de stradă prin coroana unui copac, putem observa că ramurile iluminate formează inele în jurul sursei de lumină (Fotografie făcută de A. Staring).



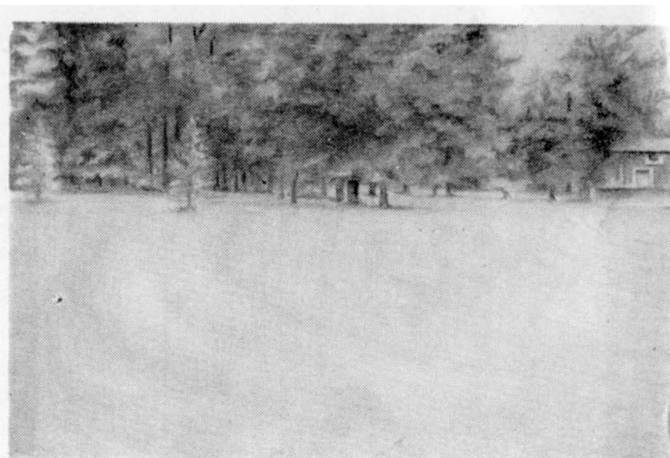
IV. Acelaşi copac ca pe fotografia III, însă ziua. Fiecare inel luminos poate fi urmărit după ramuri şi crengi. (Fotografie făcută de A. Staring).



I. Suprafaţa încreţită a canalului reflectă lumina solară pe arcul podului sub forma unor pete fantastice.



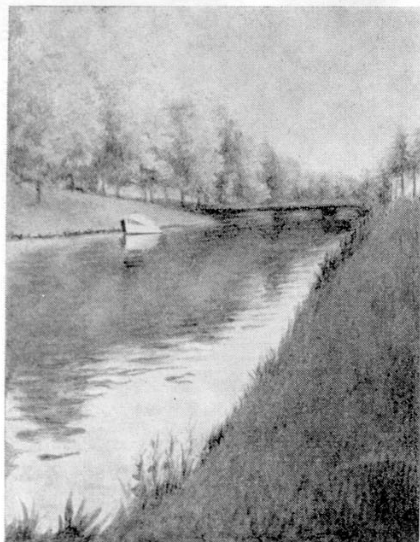
II. Reflexia Soarelui în mare formează o dîră de lumină a cărei lărgime depinde de înălţimea Soarelui şi de gradul de agitaţie al apei. Remarcaţi că malul îndepărtat nu se reflectă în apă. Dîra de lumină are strălucirea maximă lîngă orizont („deplasarea reflexiilor", vezi § 20). („J. Optic Soc. Amer"., **24**, 35, 1934)



XXIV. Urmele unei maşini de cosit pe o pajişte. Benzile lum noase şi întunecate dispar dacă le privim sub un unghi drep



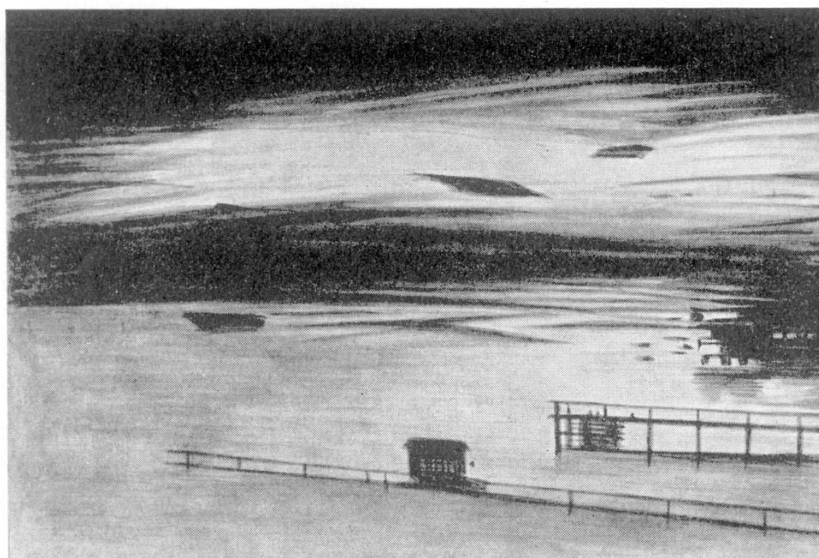
XXV. Un cîmp de buruieni văzut cu Soarele în spate şi, reflecta într-o oglindă, cu Soarele în faţă.



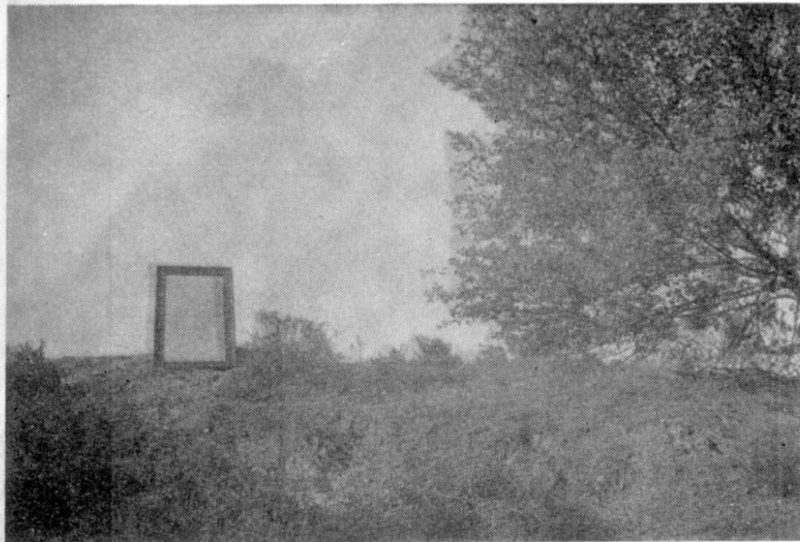
XXII. Ondulațiile pe apă sînt vizibile numai la marginea dintre reflexiile întunecate și luminoase.



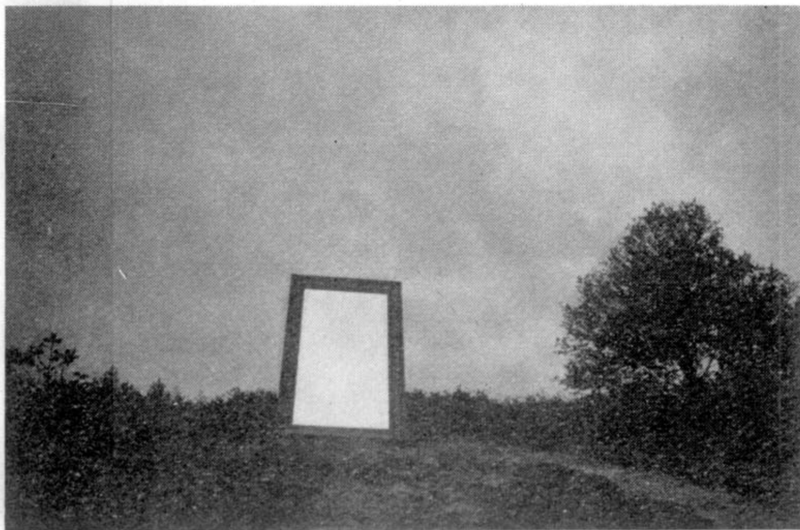
XXIII. Umbra cade pe suprafața încrețită a unui iaz. Din cap diverg o infinitate de raze luminoase și întunecate. Aparatul fotografic a fost ținut chiar în fața ochiului.



XXI. Nori argintii („Vidensk. Akad. Oslo Avh.", 1, nr. 2, 1933).



XIX. Zenitul se reflectă într-o oglindă mare înclinată. Cînd cerul este albastru, el este mai întunecat la zenit decît la orizont.



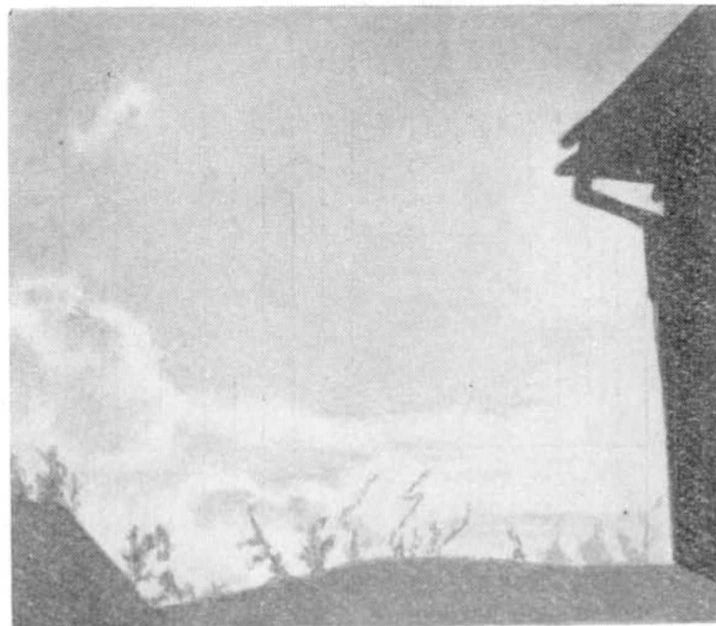
XX. Aceeaşi experienţă cînd cerul este acoperit uniform cu nori. Zenitul este acum mai strălucitor decît orizontul.



XVIII. Nimb pe o pajiște acoperită cu rouă.



XVI. Spectrul muntelui Brocken (Foto F. Smythe).



XVII. Nori irizanţi. Soarele era în spatele clădirii, norii din dreapta erau încreţiţi, irizaţia era deosebit de intensă (*Eder's Jahrb.*, **14**, 317, 1900).

Redactor responsabil de carte : Dr. E. Albu Tehnoredactor : M. Damian
Dat la cules 29.05.1962. Bun de tipar 20.10.1962. Tiraj 6000 + 100 ex. Hîrtie semivelină de 65 gr/m^2.

Format 54X14/16. Coli editoriale 23,25. Coli tipar 24.5+1 coală planşe. A.01520.
Indici de clasificare zecimală : pentru bibliotecile mari 535, pentru bibliotecile mici 53.
Tiparul executat sub comanda nr. 20613 la Combinatul Poligrafic „Casa Scînteii" Piaţa Scînteii nr. l, Bucureşti — R.P.R.